



Onderzoek Tijpoorten Westerschelde Deelnotities

Overzicht rapportages Onderzoek Tijpoorten Westerschelde

Rapportages Adviesdienst Verkeer en Vervoer

- [0] Wijnstra, ir R., Onderzoek Tijpoorten Westerschelde. Eindrapport. Rotterdam, 1 december 1993. Adviesdienst Verkeer en Vervoer, projectcode S90.607.

De volgende notities zijn verzameld in deze bundel:

- [1] Wijnstra, ir R., Schematisatie Westerschelde buitengebied. Rotterdam, 17 december 1993. Adviesdienst Verkeer en Vervoer, projectcode S90.607.
- [2] Wijnstra, ir R., Klasse-indeling waterstanden en stroming Westerschelde. Rotterdam, 17 december 1993. Adviesdienst Verkeer en Vervoer, projectcode S90.607.
- [3] Wijnstra, ir R., Klasse-indeling golfgegevens Westerschelde. Rotterdam, 17 december 1993. Adviesdienst Verkeer en Vervoer, projectcode S90.607.
- [4] Wijnstra, ir R., Schepen Westerschelde: klasse-indeling. Rotterdam, 21 december 1993. Adviesdienst Verkeer en Vervoer, projectcode S90.607.
- [5] Wijnstra, ir R., Schepen Westerschelde: vaarsnelheden. Rotterdam, 17 december 1993. Adviesdienst Verkeer en Vervoer, projectcode S90.607.

Uitgaven andere diensten en instanties (niet opgenomen in deze bundel)

- [6] Roskom, A.P., Relaties tussen laagfrequente golfparameters en scheepsbewegingen bij de toegangsgeul naar de Westerschelde. Den Haag, 25 juli 1991. Werkdocument Dienst Getijdewateren, nr. GWA0-91.10101
- [7] Groos, J., Relaties tussen laagfrequente golfparameters en scheepsbewegingen bij de toegangsgeul naar de Westerschelde. Den Haag, 12 maart 1992. Werkdocument Dienst Getijdewateren, nr. GWWS-92.114x
- [8] Lieveense, P., Onderzoek tijpoorten Westerschelde. Randvoorwaarden waterstanden, golven en stroomsnelheden. Middelburg, juli 1992. Directie Zeeland, rapport nr AX 92.008.
- [9] Dallinga, Ir. R.P., Motion response of two bulkcarriers in waves (Volume I - V). Wageningen, maart 1992. Marin, report no. 010281-1-OE

NOTITIE

C:\wp51\wester\ws_geul.not

Onderwerp: Onderzoek Tijpoorten Westerschelde
 Schematisatie Westerschelde buitengebied
Van: ir R. Wijnstra
Datum: 17 december 1993
Projectcode: S90.607

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Principe van de geulschematisatie	2
3	Breedte-verloop van de Westerschelde-geul	3
4	Gekozen schematisatie in trajecten en segmenten	3
5	Gevoeligheidsanalyse	5
	Literatuurlijst	6
	Bijlage 1 Segmentgrenzen geulindeling in coördinaten ten opzichte van Parijs	

1 Inleiding

Het doel van het "Onderzoek Tjipoorten Westerschelde" is om op probabilistische wijze tjiipoorten te berekenen. Voor deze berekeningen is het rekenprogramma HARAP beschikbaar. De invoer voor HARAP bestaat uit gegevens over:

- schepen,
- waterstanden,
- golfklimaat,
- de geul zelf.

In deze notitie worden de gegevens over de geul behandeld. Deze notitie vormt een onderdeel van de eindrapportage over het uitgevoerde onderzoek. De overige gegevens worden in separate notities behandeld.

Het onderzoek richt zich op de aanlooproute in de monding van de Westerschelde, ten westen van de ankerplaats Everingen. Voor dit onderzoek beschouwen we de route, die begint bij het loodsstation Akkaertbank, door de Scheurpas loopt en eindigt bij de mond van de Sloehaven, of bij de ankerplaats in de Everingen. Ten bate van de berekeningen wordt de route verdeeld in trajecten.

De waarden en keuzes in deze notitie zijn gebaseerd op lodingsgegevens van directie Zeeland uit zomer 1990. In de laatste fase van het onderzoek zijn de gegevens van de Scheurpas gecontroleerd met behulp van lodingsgegevens van zomer 1993.

In hoofdstuk 2 wordt het principe van de schematisatie uitgelegd. Hoofdstuk 3 beschrijft het verloop van de breedte van de geul. Hoofdstuk 4 beschrijft de gekozen schematisatie, terwijl in hoofdstuk 5 aandacht wordt besteed aan de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse.

2 Principe van de geulschematisatie

HARAP werkt met een schematisatie van de geul in trajecten. Een traject wordt onderverdeeld in 1 of meer segmenten. Deze schematisatie hangt samen met het verloop van de waterstand, met het optredende golfklimaat, en met het diepteverloop. Deze aspecten komen hieronder aan de orde.

Gedurende de (gesimuleerde) vaart van een schip over een segment verloopt de waterstand. In de berekeningen wordt uitgegaan van de minimale waterstand. Dit betekent dat de lengte van een segment niet te groot mag zijn, om te voorkomen dat met een te kleine waterstand wordt gerekend. Indien uit de berekeningen blijkt dat het verloop meer dan 20 centimeter bedraagt, wordt in de gevoeligheidsanalyse bekeken of dit nadelige gevolgen heeft voor de toegankelijkheid. In dat geval wordt de indeling aangepast.

Het golfklimaat kent twee aspecten: de (verdeling van de) golfhoogtes en de richting. De trajecten worden zodanig gekozen, dat aangenomen mag worden dat zowel de golfhoogtes, als de invalrichting constant zijn over het traject.

De waterdiepte, of waterdiepteverdeling, kan per segment worden opgegeven.

3 Breedte-verloop van de Westerschelde-geul

De Westerschelde-geul is van oorsprong een natuurlijke stroomgeul, die door baggeren op de gewenste diepte wordt gebracht. Hierdoor is er geen sprake van een vast (ontwerp)dwarsprofiel. In deze studie wordt uitgegaan van de bodembreedte, die wordt geadviseerd in het "Studierapport Verdieping Westerschelde" [1]. Dit betekent dat de volgende geulbreedtes zijn aangehouden:

- ter hoogte van de Akkaert-bank: 620 meter;
- ten westen van boei Scheur-Zand (aanloopgeul naar Zeebrugge): 530 meter.
- Scheurpas: 450 meter;
- voor Vlissingen: het huidige voorzorgsgebied.

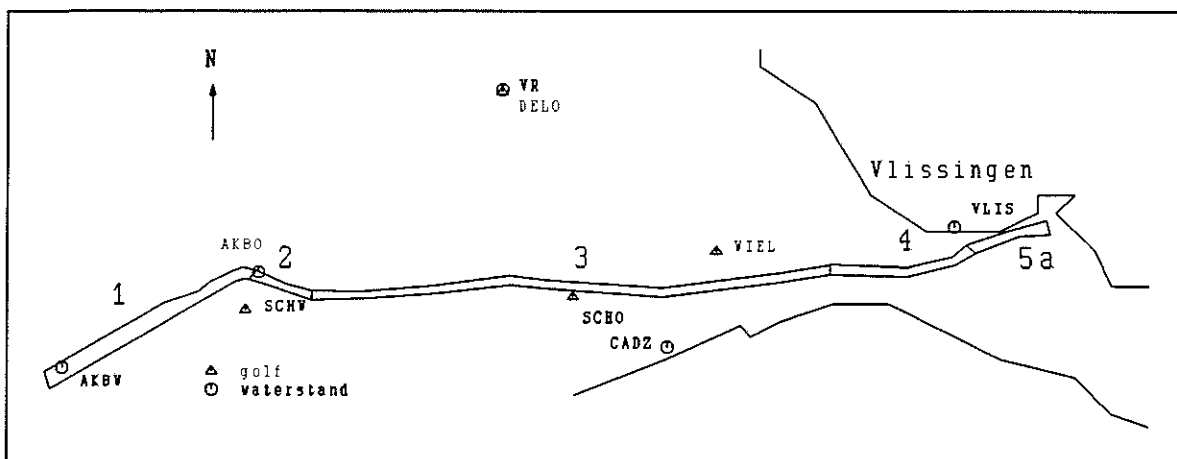
De diepte-verdeling, binnen de hierboven aangegeven geulbreedte, is bepaald met behulp van het systeem Digibeeld van directie Zeeland¹⁾. Binnen de gevonden verdeling wordt de kleinste diepte bepaald. Deze diepte wordt geacht te gelden voor het hele segment. De diepte is gecorrigeerd met -0,30 meter voor lodingson nauwkeurigheden en aanzanding tussen 2 lodings sessies.

4 Gekozen schematisatie in trajecten en segmenten

In onderstaande tabellen wordt de gekozen schematisatie van de geul gegeven. Dit voorstel is gebaseerd op de principes uit de voorgaande paragrafen en de uitkomsten van de gevoeligheidsberekening, zie hoofdstuk 5. Tabel 1 en figuur 1 geven de indeling van de geul tot en met de Sloehaven. Tabel 2 en figuur 2 geven de aangepaste indeling van traject 5, voor de schepen die naar de ankerplaats Everingen varen.

Het begin van de geul is gedefinieerd als de A1-boei. Deze heeft de coördinaten -18931, 378934 ten opzichte van Parijs.

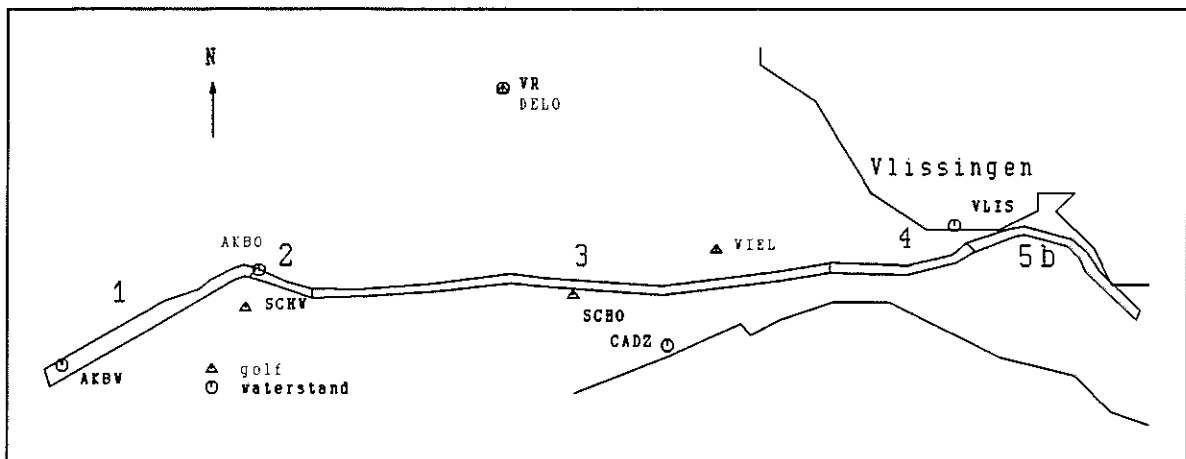
¹⁾Lodingen zomer 1990 en zomer 1993, zie ook hoofdstuk 5



Figuur 1 Geulindeling Westerschelde tot Sloehaven

Tabel I Indeling Westerschelde van de loodspost tot de Sloehaven

Begin traject/ segment	Tra- ject	Richting (graden)	Seg- ment	Lengte (m)		Diepte -NAP (m)
				Segment	Cumu- latief	
Loodsstation	1	65	1	7055	7055	16,7
			2	5160	12215	16,5
Scheur 3/4	2	110	1	3400	15615	16,5
Scheur 5/6	3	85	1	2700	18315	16,7
			2	3940	22255	16,1
			3	6020	28275	15,9
Wielingen 2/3			4	6380	34655	15,7
			5	6300	40955	15,5
			6	2830	43785	16,9
Wielingen 8	4	80	1	6780	50565	18,7
			2	1110	51675	17,1
Vlissingen	5a	80	1	4330	56005	18,9
Sloehaven			2	10	56015	14,8



Figuur 2 Geulindeling Westerschelde tot ankerplaats Everingen

Tabel II Traject 5b Vlissingen tot ankerplaats Everingen

Begin traject	Traject	Richting (graden)	Segment	Lengte (m)		Diepte -NAP (m)
				Segment	Cumulatief	
Vlissingen	5b	0	1	6000	57657	18,7
			2	5010	62685	18,7
Everingen						

5 Gevoeligheidsanalyse

In de gevoeligheidsanalyse zijn de keuzes van de segment-lengtes en de indeling rond de Scheurpas gecontroleerd. De segmenten mogen niet zo lang zijn, dat de waterstandsvariatie gedurende de gesimuleerde passage van een schip te groot is. Om dit te controleren is gekeken naar de opvaartijdstippen van het maatgevende schip (S17: Capesize bulkcarrier, diepgang 15,20m). Opvaart wordt voor dit schip toegestaan tussen 2,5 en 2 uur voor hoogwater Vlissingen. Voor deze tijdstippen is berekend wat de waterstandsvariatie is. Alleen op het eerste segment bleek dit in sommige gevallen meer te zijn dan 0,20 meter. Om de invloed van deze variatie te berekenen is het eerste segment in tweeën gedeeld, waarna opnieuw tijpoorten zijn berekend. De uitkomsten bleken niet significant te verschillen van de oorspronkelijke uitkomsten. De geul-indeling is dan ook niet aangepast.

In de eindfase van het onderzoek zijn nieuwe lodingsgegevens beschikbaar gekomen voor de Scheurpas. Hieruit bleek dat segment 4 verlengd kan worden, terwijl het laatste deel van segment 5 een grotere diepte heeft dan het middelste deel. Op basis hiervan is een aangepaste indeling gemaakt van segment 3:4, 3:5 en 3:6. Deze indeling wordt weergegeven in tabel 3.

Tabel III Aangepaste indeling traject 3 (Scheurpas) op basis lodingen zomer '93

Segment	Lengte (m)	Diepte (-NAP)
4	6780	15.7
5	3370	15.5
6	2530	15.9

Het oude segment 6 is (ongewijzigd) hernoemd tot 7

De invloed van deze wijziging is onderzocht met behulp van de Capesize bulkcarrier, diepgang 14,80 meter, bestemming Sloehaven (S13) en voor hetzelfde schip, met een diepgang van 15,20 meter (S17). In tabel 4 staan de resultaten.

Tabel IV Vergelijking resultaat oorspronkelijke geul-indeling met aangepast traject

Schip	Overligpercentage (%)	
	Basis geul	Gewijzigde geul
S13	23,4	23,2
S17	49,3	48,3

De afname van het overligpercentage is te gering om een complete herberekening van alle scheepsklassen te rechtvaardigen. Indien in een vervolgonderzoek nieuwe berekeningen uitgevoerd gaan worden kan echter wel met deze nieuwe indeling gewerkt worden.

Literatuurlijst

- [1] Verdieping Westerschelde programma 48'/43'. Antwerpen, Middelburg, juni 1984. Studierapport van de Technische Scheldecommissie, subcommissie Westerschelde.

Bijlage 1 Segmentgrenzen geulindeling in coördinaten ten opzichte van Parijs

Begin traject	Tra-jekt	Seg-ment	Noordelijk punt		Zuidelijk punt	
			X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
Loodsstation	1	1	-18630	377270	-18340	376350
	1	2	-12200	381040	-11920	380120
Scheur 3/4	2	1	-7200	382820	-7620	382320
Scheur 5/6	3	1	-4200	381700	-4210	381200
		2	-1580	381660	-1440	381260
		3	2340	381980	2500	381560
		4	8440	382280	8340	381820
		5	14760	381880	14760	381380
		6	21020	382680	21000	382150
Wielingen 8	4	1	23800	383150	23800	382600
		2	30400	383600	30600	383150
Vlissingen	5a		31160	384240	31640	383780
Sloehaven monding			35460	385560	35660	384820
Ankerplaats	5b		40520	380560	40300	380060

NOTITIE

C:\wp51\wester\ws_water.not

Onderwerp: Onderzoek Tjipoorten Westerschelde
 Klasse-indeling waterstanden en stroming Westerschelde
Van: ir R. Wijnstra
Datum: 17 december 1993
Projectcode: S90.607

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Principe van de klasse-indeling	2
3	Waterstandstations	3
4	Optimalisatie astro- en meteo-indeling	5
5	Klasse-indeling	6
6	Gevoeligheidsanalyse	8
	Literatuurlijst	9
Bijlage 1	Gebruikte rekenwaarden voor astronomische getijde en stroom	

1 Inleiding

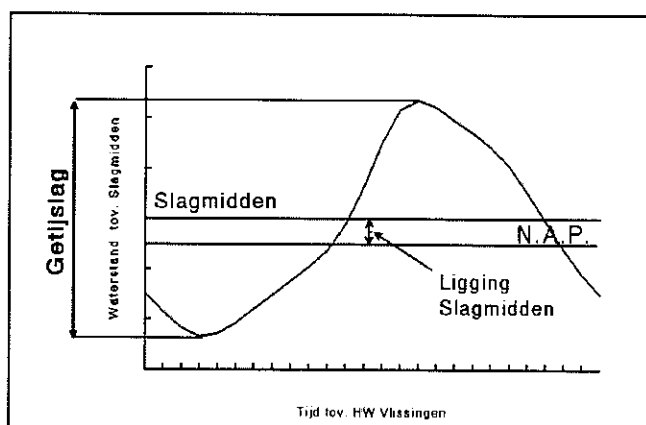
Het doel van het "Onderzoek Tjpoorten Westerschelde" is om op probabilistische wijze tjpoorten te berekenen. Voor deze berekeningen is het rekenprogramma HARAP beschikbaar. De invoer voor HARAP bestaat uit gegevens over:

- schepen,
- waterstanden en stroming,
- golfklimaat,
- de geul zelf.

In deze notitie wordt de schematisatie van de waterstanden en de stroomsnelheden behandeld. In deze notitie worden de principes, de gemaakte keuzes en de gevoeligheidsanalyse toegelicht. De rapportage over de gegevens zelf is door Directie Zeeland geleverd [1]. Deze notitie vormt een onderdeel van de eindrapportage over het uitgevoerde onderzoek. De overige gegevens worden in separate notities behandeld.

2 Principe van de klasse-indeling

De waterstand bestaat uit een astronomische en een meteorologische component. Beide worden in HARAP geschematiseerd ingevoerd. De astronomische waterstand wordt geclasseerd op basis van de getijslag. Hierbij is de getijslag gedefinieerd als het verschil tussen laagwater en het volgende hoogwater. De waterstanden worden ingevoerd ten opzichte van het zogenaamde slagmidden: het gemiddelde van laag- en hoogwater. Het slagmidden wordt vervolgens vastgelegd ten opzichte van een vast referentie-vlak. Het voordeel van deze aanpak is dat de spreiding binnen een klasse kleiner is, dan bij de gebruikelijke aanpak, waarbij de waterstanden rechtstreeks worden beschreven ten opzichte van het referentie-vlak en het getij wordt ingedeeld in dood-, gemiddeld en springtij. Het principe van de hier gebruikte aanpak wordt geïllustreerd in Figuur 1.



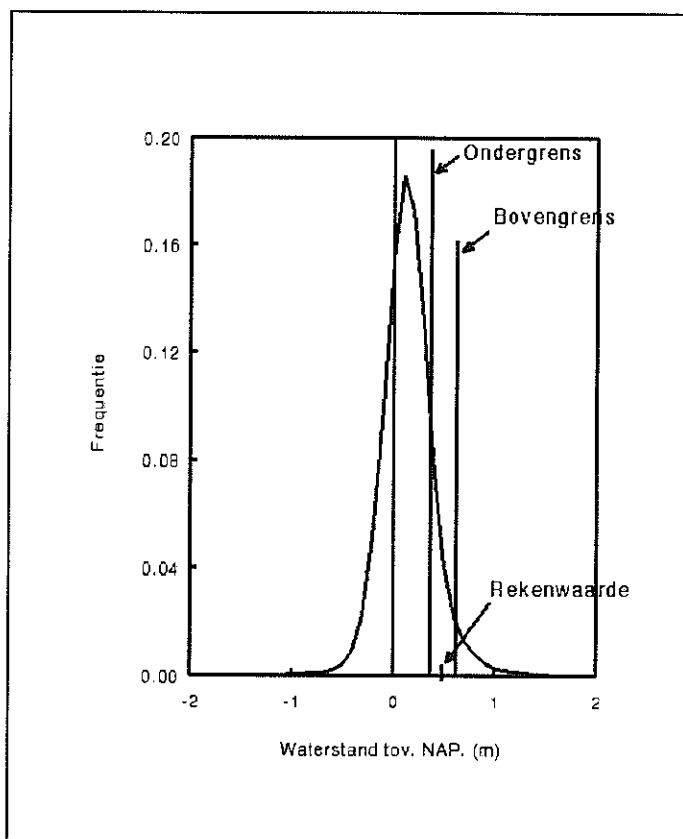
Figuur 1 Principe beschrijving astronomische waterstand

De frequentie-verdeling van de getijslag is de basis voor de classificatie. Hierbij wordt er naar gestreefd om de spreiding binnen de klassen zo klein mogelijk te houden. Het aantal klassen is variabel. Het minimum aantal is normaal gesproken drie, met een indeling van respectievelijk een kleine, gemiddelde en grote getijslag. Het maximum aantal, dat standaard in HARAP kan worden verwerkt is vijf. De rekenwaarden in HARAP zijn de gemiddelde waarden binnen een klasse per tijdstap van een half uur. De spreiding rond deze gemiddeldes wordt apart ingevoerd en meegenomen in de kans op bodemberoering.

Het meteo-effect op de waterstand is gedefinieerd als het verschil tussen de astronomische waterstand en de werkelijke waterstand op de extremen (hoog- en laagwater). Van dit

effect wordt een frequentie-verdeling gemaakt, zie Figuur 2. Deze frequentie-verdeling is de basis voor de classificatie, waarbij ernaar wordt gestreefd de spreiding binnen een klasse zo klein mogelijk te houden. Als rekenwaarde wordt het klasse-midden aangehouden, met als extra randvoorwaarde dat de rekenwaarde niet meer dan 0,10 meter boven de ondergrens van de klasse mag liggen. Deze extra randvoorwaarde is niet van belang voor de kans op bodemberoering, maar wel voor het manoeuvreercriterium. De ondergrens van laagste afwaaiingsklasse is in principe onbeperkt, daarom is besloten de 0,01 %-onderschrijdingswaarde als ondergrens te definiëren.

Het meteo-effect, zoals dat in HARAP wordt ingevoerd, is een combinatie van het werkelijke meteo-effect en de ligging van het slagmidden ten opzichte van N.A.P. Het maximum aantal meteo-klassen in HARAP is in principe vijf. Ten bate van het Westerschelde onderzoek is HARAP aangepast, zodat ook met zes klassen gerekend kan worden.



Figuur 2 Principe klasse-indeling meteo-effect

De stroomsnelheid wordt om twee redenen ingevoerd. In de eerste plaats de Sloehaven rond de stroomkentering ingevaren te worden. Het is daarom van belang over een nauwkeurige stroomvoorspelling te beschikken. Voor dit doel zijn stroomreeksen geproduceerd met behulp van het WAQUA-model voor de Westerschelde. Deze model-gegevens zijn gevalideerd met behulp van een aantal stroommetingen. In de tweede plaats wordt de stroomsnelheid gebruikt voor de berekening van de squat. Hiertoe dient de stroomsnelheid langs de hele geul bekend te zijn, maar de benodigde nauwkeurigheid is minder, dan die ten bate van de stroomuitsluiting. Om deze redenen is gebruik gemaakt van de gegevens uit de stroomatlas voor de Westerschelde [2].

3 Waterstandstations

Het is gewenst om de waterstanden op meerdere punten langs de geul te kennen. HARAP interpoleert vervolgens op de tussenliggende delen. Als minimum-eis geldt dat de waterstand zowel aan het begin, als aan het eind van de geul bekend moet zijn. Gezien de lengte van de geul, en de kritische waterdiepte op de Scheurpas, is ervoor gekozen ook een waterstandstation halverwege de geul te definiëren.

De volgende stations zijn gebruikt:

- Wandelaar¹⁾. Dit is een punt aan het begin van de geul, waarvoor door DGW een astronomische waterstandsreeks is berekend. Omdat van dit punt geen meetgegevens beschikbaar zijn, is voor het meteo-effect gebruik gemaakt van de meetgegevens bij de Vlake van de Raan.
- Cadzand. Dit stations ligt ongeveer op de helft van de geul (34700 meter van het begin). Voor dit stations zijn zowel astronomische, als gemeten gegevens beschikbaar.
- Vlissingen. Dit station ligt op de overgang van het buitengebied naar het binnengebied (op 54100 meter van het begin). Ook voor dit stations zijn zowel astronomische, als gemeten gegevens beschikbaar.
- Sloehaven. De monding van de Sloehaven is in principe het eind van de geul. Voor dit punt zijn geen standaard gegevens beschikbaar. Het verschil in getijfase met Vlissingen is slechts 5 minuten. Op basis hiervan is besloten dezelfde gegevens te gebruiken.

In een tweede fase van het onderzoek zijn ook tijpoorten berekend voor de vaart naar de ankerplaats Everingen. Het fase-verschil met Vlissingen is ongeveer een kwartier. De waterstanden op het traject Vlissingen-Everingen bleken niet kritiek te zijn, waardoor het niet nodig was voor dit punt een apart station te definiëren.

¹⁾ In de rapportage van directie Zeeland aangeduid als "Akkaertbank-west"

Binnen de randvoorwaarden uit hoofdstuk 2 kan de klasse-indeling geoptimaliseerd worden. Hierbij kan zowel het aantal klassen, als de klasse-breedte gevarieerd worden. Deze optimalisatie is uitgevoerd met een Cape-size bulkcarrier met een diepgang van 15,20 meter en bestemming Sloehaven.

Tabel I Onderzochte Astro- en Meteoidelingen

Naam Astro- variant	Klasse (Percentage van voorkomen)					
	1	2	3	4	5	
3A	25	50	25	-	-	
5A	10	15	30	30	15	
Naam Meteo- variant	Klasse (Percentage van voorkomen)					
	1	2	3	4	5	6
5M	5	30	30	30	5	-
5M'	5	20	40	30	5	-
5M''	9	18	36	27	10	-
6M	9	18	36	27	8	2

De klassen worden hier beschreven door middel van hun frequentie van voorkomen.

Bij de astro-indeling geldt: hoe hoger de klasse, des te groter de getijslag.

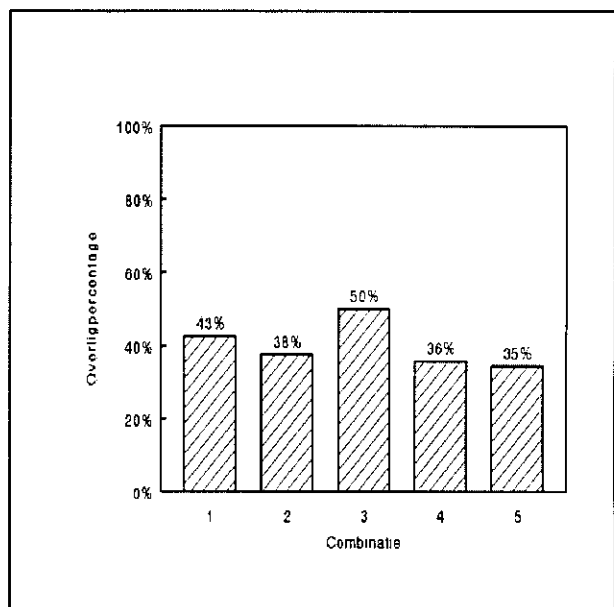
Bij de meteo-indeling geldt: hoe hoger de klasse, des te minder water (1=maximale opwaaiing, 5 of 6 is maximale afwaaiing).

Voor het astronomische getijde zijn twee varianten bekeken: één variant met drie klassen en één met vijf klassen. In een eerder stadium is reeds een alternatieve indeling in drie klassen afgevallen, omdat de spreiding binnen de klassen groter was, dan de hier gebruikte. Voor de meteo-verdeling zijn vier varianten bekeken: drie op basis van een indeling in vijf klassen en één met een indeling in 6 klassen. Deze laatste is ontstaan uit één van de andere indelingen, door de hoogste klasse te splitsen. De verschillende varianten worden in Tabel I weergegeven. In deze tabel worden de klassen beschreven door middel van hun frequentie van voorkomen. Uiteraard horen bij deze verschillende frequenties ook verschillende klasse-grenzen en rekenwaarden. Van de varianten zijn vijf combinaties gemaakt en doorgerekend op hun effect op het overligpercentage. Hierbij is (om rekentechnische redenen) alleen gekeken naar het aandeel van de waterstands-uitsluiting op het overliggen. De beschouwde combinaties staan in Tabel II. Het resultaat wordt weergegeven in Figuur 3. Op basis hiervan is besloten combinatie 5 te kiezen. Tevens mag op

basis van de kleine verschillen tussen combinaties 2, 4 en 5 geconcludeerd worden dat een verdere verfijning van de klasse-indeling weinig effect zal hebben op het overligpercentage.

Tabel II Onderzochte combinaties van varianten

Combinatie	Astro-variant	Meteo-variant
1	3A	5M
2	3A	5M'
3	5A	5M
4	5A	5M''
5	5A	6M



Figuur 3 Overligpercentage voor astro-meteo-combinaties

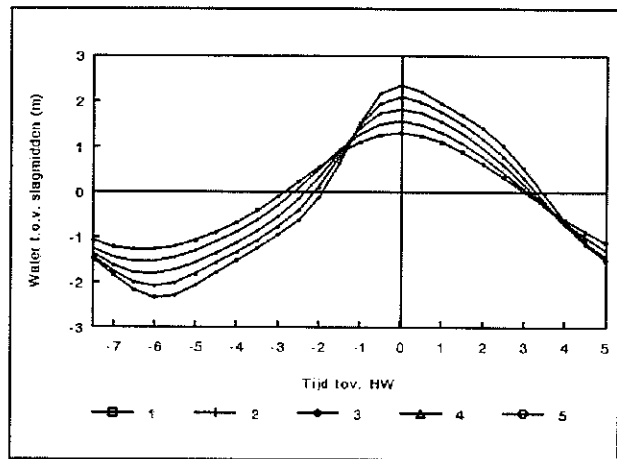
5 Klasse-indeling

Voor het astronomisch getijde is in de vorige paragraaf gekozen voor een indeling in 5 klassen. De bijbehorende getij-krommen voor Vlissingen worden in Figuur 4 gepresenteerd. De numerieke waarden van alle stations worden in bijlage 1 gegeven. De spreiding die bij deze indeling hoort is 0,26 meter.

De lengte van de getij-cyclus is 12,5 uur. Het begin en einde van de beschreven cyclus zullen nooit exact op elkaar aansluiten. Daarom wordt het begin- en eindtijdstip zodanig gekozen, dat zoveel mogelijk vaarten binnen één cyclus vallen. Dit betekent dat het begintijdstip 7,5 uur voor hoogwater Vlissingen is, dit is gelijk aan 0,5 uur na plaatselijk laagwater bij begin van de geul. Het eindtijdstip komt op 5 uur na hoogwater Vlissingen.

Voor het meteo-effect is de indeling gekozen op basis van 6 klassen. De bijbehorende frequenties, en rekenwaarden worden in Tabel III gegeven. Tevens worden hierin voor Vlissingen de grenswaarden aangegeven waarop de indeling gebaseerd is.

De rekenwaarden voor de sterkte en richting van de stroom zijn in bijlage 1 opgenomen. Om een koppeling te kunnen maken tussen de waarden uit de stroomatlas en de klasse-indeling zijn de waarden uit de atlas vergeleken met die van punt B uit [1]. Op basis hiervan is besloten aan astro-klassen 1 en 2 de waarden behorend bij doottij te koppelen. Aan klassen 3 en 4 zijn de waarden van gemiddeld tij en aan klasse 5 de waarden van springtij gekoppeld.



Figuur 4 Astro-krommen bij Vlissingen

Het station Sloehaven is ten bate van de stroom in tweeën gesplitst. "Sloe1" bevat de langsstroom van het zogenaamde punt A, zie [1]. Dit punt is representatief voor het stroombeeld in de aanloop naar de Sloehaven. "Sloe2" bevat de waarden, die bepalend zijn voor de uitsluiting op basis van de dwarsstroom vlak voor de haven. Hier is de richting dwars op de geul aangenomen. Voor de rekenwaarden van de sterkte is gekozen voor de 5%-overschrijdingswaarde van het punt E uit [1].

Tabel III Klasse-indeling meteo-effect (inclusief afwijking slagmidden)

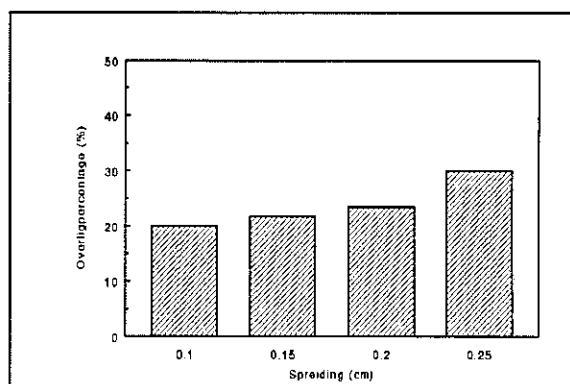
Klasse	Frequentie (%)	Stations (afwijking v.d. waterstand in meter)				
		Vlissingen			Cadzand Reken	Wandelaar Reken
		Onder	Boven	Reken		
1	9	0,42	1,40	0,52	0,46	0,37
2	18	0,22	0,41	0,32	0,26	0,19
3	36	0,02	0,21	0,12	0,07	0,01
4	27	-0,19	0,01	-0,09	-0,13	-0,17
5	8	-0,39	-0,20	-0,29	-0,33	-0,36
6	2	-0,90	-0,40	-0,80	-1,0	-0,9

Naast de optimalisatie uit hoofdstuk 4 is voor een aantal variabelen een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Ten eerste is gekeken naar de grootte van de rekenstap. De rekenstap is de tijdsinterval waarop bekeken wordt of een opvaart mogelijk is. Bij een rekenstap van een half uur bleek dat in een aantal gevallen niet op twee opeenvolgende tijdstippen een opvaart mogelijk was. Dit betekent automatisch dat er geen tijpoort aanwezig is, een tijpoort dient immers een zekere lengte te hebben. Dit is een gevolg van het krappe stroomvenster. Hierdoor was het noodzakelijk een rekenstap van een kwartier te hanteren.

Ten tweede is gekeken naar het dwarsstroomcriterium. In de praktijk wordt momenteel op, of even na de stroomkentering de Sloehaven binnengevaren. Indien voor het criterium waarden van 0,10 of minder worden opgegeven, wordt het stroomvenster zo kort, dat in het geheel geen tijpoorten afgegeven worden. Bij waarden boven de 0,20 meter per seconde heeft het criterium geen invloed op het overligpercentage, maar nog wel op de tijpoortlengte. Op basis hiervan is besloten de berekeningen te baseren op een criterium van 0,25 meter per seconde. Het blijft de verantwoording van de loods en de kapitein om binnen het stroomvenster dat zo ontstaat het juiste opvaarttijdstip te kiezen.

Tot slot is de invloed van de spreidingsparameter voor de waterstand bepaald. Binnen HARAP wordt gewerkt met één waarde, die geldt voor alle tijdstippen en stations. Uit de gegevens van Directie Zeeland zijn afzonderlijk waarden bekend per station, per astro-klasse en per rekentijdstip. Het blijkt dat een grote variatie in waarden voorkomt. Bij de stations Cadzand en Vlissingen blijft de waarde in het algemeen (ruim) onder de 0,20. Bij station Wandelaar komen echter waarden tot rond de 0,30 voor. De gevoeligheid van het overligpercentage voor deze parameter blijkt vrij groot te zijn, zie Figuur 5. Aangezien het eerste deel van de geul slechts een zeer beperkt aandeel het in de kans op bodemberoering, ten opzichte van het deel rond station Cadzand, is besloten de maximum-waarde te nemen, die bij Cadzand voorkomt: 0,20.



Figuur 5 Invloed spreiding waterstand

Literatuurlijst

- [1] Lieveense, P., Onderzoek tijpoorten Westerschelde. Randvoorwaarden waterstanden, golven en stroomsnelheden. Middelburg, juli 1992. Directie Zeeland, rapport nr AX 92.008.

- [2] Stroomatlas HP15 Westerschelde-Oosterschelde. Den Haag, januari 1992. Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine.

Bijlage 1 Invoerfiles astronomische getijde en stroom

Waterstanden op basis van half uur

Begin: -7:30:00 uur

Einde 4:30:00 uur

Vlissingen

Positie station: 2470m voorbij begin 5.1

ASTROKLASSE,1	ASTROKLASSE,2	ASTROKLASSE,3
-1.07,0.9 ,250	-1.26,0.9 ,250	-1.37,1.2 ,250
-1.22,0.7 ,250	-1.45,0.7 ,250	-1.63,1.0 ,250
-1.28,0.6 ,255	-1.54,0.6 ,255	-1.79,0.9 ,255
-1.28,0.4 ,255	-1.54,0.4 ,255	-1.82,0.7 ,255
-1.21,0.2 ,240	-1.46,0.2 ,240	-1.73,0.4 ,240
-1.08,0.0 ,160	-1.31,0.0 ,160	-1.57,0.0 ,160
-0.9,0.1 ,80	-1.11,0.1 ,80	-1.36,0.1 ,80
-0.68,0.2 ,70	-0.88,0.2 ,70	-1.13,0.2 ,70
-0.41,0.4 ,60	-0.62,0.4 ,60	-0.87,0.4 ,60
-0.11,0.6 ,60	-0.3,0.6 ,60	-0.55,0.6 ,60
0.22,0.6 ,60	0.08,0.6 ,60	-0.16,0.7 ,60
0.55,0.7 ,60	0.5,0.7 ,60	0.33,0.8 ,60
0.85,0.7 ,70	0.92,0.7 ,70	0.88,1.0 ,70
1.1,0.8 ,85	1.27,0.8 ,85	1.4,1.1 ,85
1.25,0.5 ,75	1.49,0.5 ,75	1.73,0.8 ,75
1.3,0.3 ,65	1.56,0.3 ,65	1.83,0.5 ,65
1.23,0.1 ,45	1.48,0.1 ,45	1.74,0.2 ,45
1.09,0.0 ,345	1.3,0.0 ,345	1.54,0.0 ,345
0.88,0.3 ,260	1.06,0.3 ,260	1.28,0.3 ,260
0.62,0.6 ,265	0.77,0.6 ,265	0.96,0.6 ,265
0.33,0.7 ,260	0.43,0.7 ,260	0.59,0.9 ,260
0.02,0.9 ,255	0.07,0.9 ,255	0.17,1.2 ,255
-0.3,1.0 ,250	-0.31,1.0 ,250	-0.28,1.3 ,250
-0.61,1.2 ,245	-0.68,1.2 ,245	-0.72,1.4 ,245
-0.89,1.0 ,250	-1.01,1.0 ,250	-1.12,1.3 ,250
END:ASTROKLASSE	END:ASTROKLASSE	END:ASTROKLASSE

ASTROKLASSE, 4	ASTROKLASSE, 5
-1.44,1.2 ,250	-1.48,1.5 ,250
-1.76,1.0 ,250	-1.85,1.3 ,250
-2,0.9 ,255	-2.17,1.2 ,255
-2.09,0.7 ,255	-2.34,1.1 ,255
-2.02,0.4 ,240	-2.3,0.5 ,240
-1.82,0.0 ,160	-2.08,0.0 ,160
-1.58,0.1 ,80	-1.8,0.1 ,80
-1.34,0.2 ,70	-1.52,0.3 ,70
-1.07,0.4 ,60	-1.24,0.5 ,60
-0.77,0.6 ,60	-0.96,0.7 ,60
-0.41,0.7 ,60	-0.64,0.8 ,60
0.11,0.8 ,60	-0.13,0.9 ,60
0.78,1.0 ,70	0.64,1.2 ,70
1.48,1.1 ,85	1.51,1.5 ,85
1.95,0.8 ,75	2.16,1.1 ,75
2.09,0.5 ,65	2.35,0.7 ,65
1.98,0.2 ,45	2.2,0.3 ,45
1.75,0.0 ,345	1.94,0.0 ,345
1.49,0.3 ,260	1.69,0.4 ,260
1.17,0.6 ,265	1.41,0.7 ,265
0.78,0.9 ,260	1.02,1.1 ,260
0.31,1.2 ,255	0.52,1.5 ,255
-0.21,1.3 ,250	-0.05,1.6 ,250
-0.71,1.4 ,245	-0.62,1.7 ,245
-1.16,1.3 ,250	-1.1,1.6 ,250
END:ASTROKLASSE	END:ASTROKLASSE

Cadzand

ASTROKLASSE,1	ASTROKLASSE,2	ASTROKLASSE,3
-1.09,0.9 ,255	-1.31,0.9 ,255	-1.48,1.1 ,255
-1.18,0.8 ,250	-1.44,0.8 ,250	-1.67,1.0 ,250
-1.21,0.7 ,250	-1.47,0.7 ,250	-1.75,0.8 ,250
-1.17,0.5 ,255	-1.42,0.5 ,255	-1.69,0.6 ,255
-1.07,0.3 ,230	-1.29,0.3 ,230	-1.55,0.4 ,230
-0.92,0.2 ,205	-1.13,0.2 ,205	-1.36,0.2 ,205
-0.73,0.1 ,185	-0.93,0.1 ,185	-1.16,0.2 ,185
-0.49,0.1 ,170	-0.69,0.1 ,170	-0.93,0.1 ,170
-0.21,0.2 ,110	-0.41,0.2 ,110	-0.65,0.3 ,110
0.1,0.4 ,95	-0.06,0.4 ,95	-0.3,0.4 ,95
0.42,0.6 ,80	0.35,0.6 ,80	0.15,0.7 ,80
0.72,0.9 ,75	0.77,0.9 ,75	0.7,0.9 ,75
0.97,0.9 ,80	1.13,0.9 ,80	1.24,1.1 ,80
1.14,1.0 ,85	1.38,1.0 ,85	1.62,1.4 ,85
1.21,0.9 ,85	1.47,0.9 ,85	1.75,1.2 ,85
1.18,0.7 ,85	1.42,0.7 ,85	1.68,1.0 ,85
1.06,0.5 ,85	1.27,0.5 ,85	1.51,0.7 ,85
0.89,0.4 ,90	1.06,0.4 ,90	1.28,0.4 ,90
0.67,0.2 ,40	0.81,0.2 ,40	1,0.2 ,40
0.42,0.1 ,31	0.53,0.1 ,310	0.67,0.1 ,310
0.14,0.4 ,280	0.21,0.4 ,280	0.31,0.4 ,280
-0.14,0.7 ,270	-0.13,0.7 ,270	-0.09,0.8 ,270
-0.43,0.8 ,270	-0.48,0.8 ,270	-0.51,1.0 ,270
-0.72,1.0 ,270	-0.82,1.0 ,270	-0.92,1.3 ,270
-0.96,0.9 ,260	-1.12,0.9 ,260	-1.27,1.2 ,260
END:ASTROKLASSE	END:ASTROKLASSE	END:ASTROKLASSE

ASTROKLASSE, 4	ASTROKLASSE, 5
-1.62,1.1 ,255	-1.71,1.3 ,255
-1.88,1.0 ,250	-2.05,1.1 ,250
-2.02,0.8 ,250	-2.26,1.0 ,250
-1.98,0.6 ,255	-2.27,0.7 ,255
-1.81,0.4 ,230	-2.08,0.5 ,230
-1.59,0.2 ,205	-1.81,0.3 ,205
-1.37,0.2 ,185	-1.55,0.2 ,185
-1.13,0.1 ,170	-1.3,0.2 ,170
-0.87,0.3 ,110	-1.05,0.3 ,110
-0.54,0.4 ,95	-0.76,0.5 ,95
-0.08,0.7 ,80	-0.33,0.7 ,80
0.56,0.9 ,75	0.38,0.9 ,75
1.28,1.1 ,80	1.28,1.3 ,80
1.83,1.4 ,85	2.02,1.7 ,85
2.03,1.2 ,85	2.3,1.5 ,85
1.94,1.0 ,85	2.18,1.2 ,85
1.73,0.7 ,85	1.93,0.8 ,85
1.49,0.4 ,90	1.69,0.5 ,90
1.2,0.2 ,40	1.42,0.3 ,40
0.85,0.1 ,310	1.07,0.1 ,310
0.44,0.4 ,280	0.64,0.5 ,280
-0.01,0.8 ,270	0.15,0.9 ,270
-0.49,1.0 ,270	-0.38,1.2 ,270
-0.96,1.3 ,270	-0.9,1.6 ,270
-1.36,1.2 ,260	-1.34,1.4 ,260
END:ASTROKLASS	END:ASTROKLASSE

Wandelaar

Wandelaar = Akkaertbank-West en ligt ongeveer dwars t.o.v. de Al-boei, gezien vanuit de verplaatsrichting van de getijgolf

ASTROKLASSE,1	ASTROKLASSE,2	ASTROKLASSE,3
-1.01,0.5 ,250	-1.3,0.5 ,250	-1.64,0.5 ,250
-0.91,0.6 ,245	-1.18,0.6 ,245	-1.49,0.6 ,245
-0.76,0.6 ,240	-0.99,0.6 ,240	-1.28,0.6 ,240
-0.57,0.7 ,240	-0.77,0.7 ,240	-1.05,0.7 ,240
-0.34,0.7 ,240	-0.51,0.7 ,240	-0.8,0.7 ,240
-0.08,0.7 ,235	-0.21,0.7 ,235	-0.48,0.7 ,235
0.19,0.6 ,230	0.13,0.6 ,230	-0.08,0.7 ,230
0.45,0.6 ,220	0.48,0.6 ,220	0.41,0.7 ,220
0.69,0.6 ,180	0.81,0.6 ,180	0.9,0.7 ,180
0.88,0.6 ,140	1.09,0.6 ,140	1.32,0.7 ,140
1,0.5 ,110	1.27,0.5 ,110	1.59,0.7 ,110
1.04,0.5 ,90	1.33,0.5 ,90	1.67,0.7 ,90
1,0.6 ,80	1.3,0.6 ,80	1.62,0.7 ,80
0.9,0.6 ,70	1.17,0.6 ,70	1.46,0.7 ,70
0.73,0.7 ,65	0.97,0.7 ,65	1.24,0.7 ,65
0.52,0.7 ,60	0.72,0.7 ,60	0.95,0.8 ,60
0.29,0.7 ,55	0.43,0.7 ,55	0.61,0.7 ,55
0.04,0.6 ,50	0.12,0.6 ,50	0.23,0.7 ,50
-0.21,0.5 ,40	-0.2,0.5 ,40	-0.15,0.7 ,40
-0.45,0.4 ,30	-0.5,0.4 ,30	-0.53,0.6 ,30
-0.66,0.3 ,20	-0.77,0.3 ,20	-0.87,0.3 ,20
-0.84,0.2 ,350	-1.01,0.2 ,350	-1.19,0.2 ,350
-0.99,0.3 ,320	-1.21,0.3 ,320	-1.45,0.3 ,320
-1.08,0.3 ,290	-1.33,0.3 ,290	-1.63,0.3 ,290
-1.12,0.4 ,270	-1.38,0.4 ,270	-1.69,0.4 ,270
END:ASTROKLASSE	END:ASTROKLASSE	END:ASTROKLASSE

ASTROKLASSE,4	ASTROKLASSE,5
-2.04,0.5 ,250	-2.42,0.6 ,250
-1.89,0.6 ,245	-2.26,0.6 ,245
-1.64,0.6 ,240	-1.97,0.7 ,240
-1.37,0.7 ,240	-1.66,0.7 ,240
-1.1,0.7 ,240	-1.34,0.7 ,240
-0.76,0.7 ,235	-0.96,0.7 ,235
-0.3,0.7 ,230	-0.45,0.7 ,230
0.29,0.7 ,220	0.22,0.7 ,220
0.95,0.7 ,180	0.99,0.7 ,180
1.53,0.7 ,140	1.7,0.8 ,140
1.92,0.7 ,110	2.2,0.8 ,110
2.07,0.7 ,90	2.42,0.8 ,90
2.02,0.7 ,80	2.4,0.8 ,80
1.84,0.7 ,70	2.22,0.8 ,70
1.58,0.7 ,65	1.93,0.8 ,65
1.25,0.8 ,60	1.56,0.8 ,60
0.85,0.7 ,55	1.1,0.8 ,55
0.39,0.7 ,50	0.58,0.8 ,50
-0.08,0.7 ,40	0.02,0.8 ,40
-0.54,0.6 ,30	-0.52,0.8 ,30
-0.96,0.3 ,20	-1.02,0.4 ,20
-1.35,0.2 ,350	-1.47,0.2 ,350
-1.7,0.3 ,320	-1.88,0.3 ,320
-1.95,0.3 ,290	-2.19,0.3 ,290
-2.06,0.4 ,270	-2.34,0.5 ,270
END:ASTROKLASSE	END:ASTROKLASSE

NOTITIE

C:\wp51\wester\ws_golf.not

Onderwerp: Onderzoek Tjipoorten Westerschelde
 Klasse-indeling golfgegevens Westerschelde
Van: ir R. Wijnstra
Datum: 17 december 1993
Projectcode: S90.607

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Principe van de klasse-indeling	2
3	Golfstations	3
4	Klasse-indeling	3
6	Gevoeligheidsanalyse	4
	Literatuurlijst	7
Bijlage 1	Invoer-file voorspelmatrix golfklassen Westerschelde	8

1 Inleiding

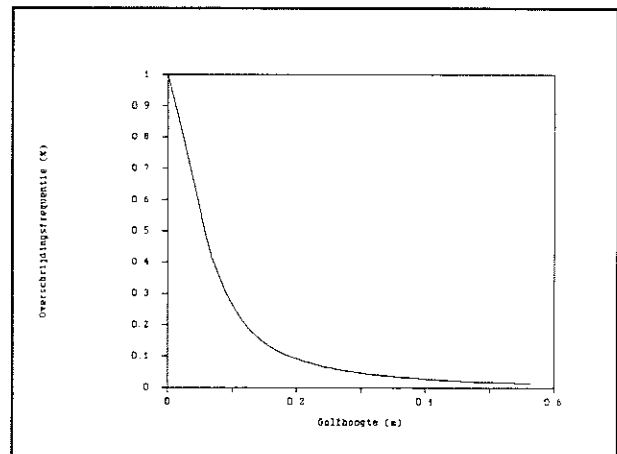
Het doel van het "Onderzoek Tijpoorten Westerschelde" is om op probabilistische wijze tijpoorten te berekenen. Voor deze berekeningen is het rekenprogramma HARAP beschikbaar. De invoer voor HARAP bestaat uit gegevens over:

- schepen,
- waterstanden en stroming,
- golfklimaat,
- de geul zelf.

In deze notitie wordt de schematisatie van het golfklimaat behandeld. In deze notitie worden de principes, de gemaakte keuzes en de gevoeligheidsanalyse toegelicht. De rapportage over de gegevens zelf is door Directie Zeeland geleverd [1]. Deze notitie vormt een onderdeel van de eindrapportage over het uitgevoerde onderzoek. De overige gegevens worden in separate notities behandeld.

2 Principe van de klasse-indeling

Het golfklimaat bepaalt, samen met de overdrachtsfuncties, de verticale scheepsbewegingen. Hierbij zijn twee groepen van gegevens van belang. De eerste groep beschrijft het klimaat zelf. Dit gebeurt door middel van de (overschrijdings-)frequentie van de He10-parameter. Deze He10-parameter is een maat voor de laagfrequente energie (He10)¹⁾. In het rapport van Directie Zeeland [1] wordt beschreven hoe deze gegevens verzameld en verwerkt zijn. Als voorbeeld van de overschrijdingsfrequentie voor de He10 wordt in Figuur 1 de grafiek voor het station Scheur West gegeven.



Figuur 1 Overschrijdingsfrequentie golfhoogte (He10) station Scheur-West

Op basis van de overschrijdingsfrequentie van station Scheur-West wordt een klasse-indeling gemaakt. Daarbij geldt als uitgangspunt dat een klasse enerzijds niet te breed mag worden en dat anderzijds de frequentie van voorkomen van een klasse niet te groot mag worden. HARAP geeft de randvoorwaarde dat het totale aantal klassen maximaal tien mag zijn. Een gekozen klasse-indeling wordt in de gevoeligheidsanalyse getoetst en geoptimaliseerd.

De golfklasse-indeling wordt gegeven in een bestand met de frequentie van voorkomen van de verschillende golfhoogte-klassen. Deze indeling wordt in het algemeen op de

¹⁾Het gebruik van deze parameter voor het berekenen van de scheepsbewegingen van met name kleinere schepen staat echter ter discussie, zie hiervoor de notitie over de schepen

opgetreden (en gemeten) golfwaarden gebaseerd. Juister is echter om dit te baseren op de frequentie waarmee deze waarden voorspeld worden. Dit is praktisch gezien moeilijker uitvoerbaar, omdat lange reeksen met voorspelgegevens vaak ontbreken. Nadat een eerste indeling was gemaakt, bleek echter dat de voorspellingen structureel afwijken van de opgetreden waarden. Om deze reden is de oude indeling omgerekend naar de waarden, die bij de voorspelling horen. Omdat er te weinig gegevens waren voor de hogere golfklassen, zijn deze klassen gebaseerd op een kwadratische regressie, die op de beschikbare gegevens is uitgevoerd.

De voorspelnauwkeurigheid wordt met een apart bestand ingevoerd. Deze nauwkeurigheid is van belang om de kans op bodemberoering, zoals die in de werkelijkheid optreedt, te kunnen berekenen. Een schip krijgt immers een tijpoort, op basis van een verwachte waarde van de He10-waarde. In werkelijkheid bestaat een zekere kans dat een afwijkende waarde zal optreden. Deze werkelijke waarde bepaalt de kans dat dit schip tijdens de geul de bodem raakt.

De voorspelnauwkeurigheid wordt bij voorkeur beschreven met behulp van de zogenaamde voorspelmatrix, zie bijlage 1. Deze matrix geeft per voorspelde golfklasse de kans op treden van elke (werkelijke) golfklasse²⁾. Uit deze matrix blijkt bijvoorbeeld, dat indien golfklasse 2 voorspeld wordt de kans dat golfklasse 2 inderdaad optreedt 38% is. De kans dat de (lagere) klasse 1 optreedt is 50% en de kans dat klasse 3 optreedt is 7%.

3 Golfstations

Golfgegevens zijn voor verschillende punten in het gebied bekend. Na analyse van de gegevens is besloten twee stations te gebruiken: Scheur-West en Scheur-Oost. Hierbij geldt het klimaat van Scheur-West voor de eerste twee trajecten. Traject drie en vier ondervinden minder golf-energie. Voor deze trajecten worden de gegevens van Scheur-Oost gebruikt. Het laatste traject is het binnengebied. Hier dringt veel minder laagfrequente energie door. Bovendien is de aanwezige diepte groter. Door deze beide factoren is de kans op bodemberoering op dit traject te verwaarlozen en wordt hier geen golfklimaat gedefinieerd.

4 Klasse-indeling

De klasse-indeling wordt gebaseerd op stations Scheur-West: de voorspelde waarde van dit station bepaalt de klasse.

De definitieve golfklasse-indeling wordt weergegeven in Tabel I. Hierin wordt voor elke golfklasse weergegeven:

- de frequentie waarmee de waarden binnen de klasse voorspeld worden,

²⁾In de bijlage 1 staat elke regel voor de voorspelde golfklasse, terwijl de getallen op een rij achtereenvolgens de kansen van voorkomen van de respectievelijk golfhoogten geven.

- de bovengrens van de klasse, op basis van station Scheur-West,
- de rekenwaarde van respectievelijk station Scheur-West en Scheur-Oost.

Tabel I Golfklasse-indeling

Klasse	Freque- tie	Station			
		Scheur-West (He10 in meter)		Scheur-Oost (He10 in meter)	
		Boven- grens	Reken- waarde	Boven- grens	Reken- waarde
1	0,269	0,035	0,018	0,023	0,012
2	0,230	0,055	0,035	0,032	0,026
3	0,184	0,071	0,062	0,051	0,043
4	0,128	0,121	0,096	0,087	0,069
5	0,085	0,188	0,155	0,139	0,113
6	0,047	0,258	0,224	0,195	0,167
7	0,040	0,385	0,322	0,294	0,244
8	0,010	0,467	0,426	0,364	0,329
9	0,002	0,600	0,549	0,487	0,426
10	0,005	∞	1,095	∞	0,938

De voorspelmatrix is gebaseerd op een jaarreeks waarnemingen van voorspelde en opgetreden waarden. Van dit jaar zijn alle voorspellingen gebruikt met een voorspelperiode van 6 uur of minder. In totaal zijn ruim 6000 combinaties verwerkt. De matrix wordt in bijlage 1 weergegeven in de vorm, zoals deze in HARAP is ingevoerd.

6 Gevoeligheidsanalyse

In paragraaf 2 is aangegeven dat in principe gebruik gemaakt moet worden van de frequentie waarmee bepaalde golfhoogtes worden **voorspeld** en niet van de frequentie waarmee ze uiteindelijk blijken voor te komen. Om te bepalen of dit verschil relevant is, zijn de overligpercentages voor beide situaties berekend. Uiteraard is daarbij niet alleen de golffrequentie-verdeling zelf aangepast, maar ook de bijbehorende voorspelmatrix. Voor een cape-sizer met een diepgang van 14,80 meter is het verschil bijna 3 % (op een overligpercentage van ongeveer 25%). Dit verschil is significant, waarop besloten is gebruik te maken van de theoretisch meest correcte waarden: de voorspelde.

De gevoeligheid voor het gebruik van de voorspelmatrix is bepaald, door de resultaten met gebruik van de matrix te vergelijken met die, waarbij geen rekening wordt gehouden

met de voorspelnauwkeurigheid. Deze vergelijking is uitgevoerd voor een Cape-sizer met een diepgang van 15,20 meter. De resultaten zijn:

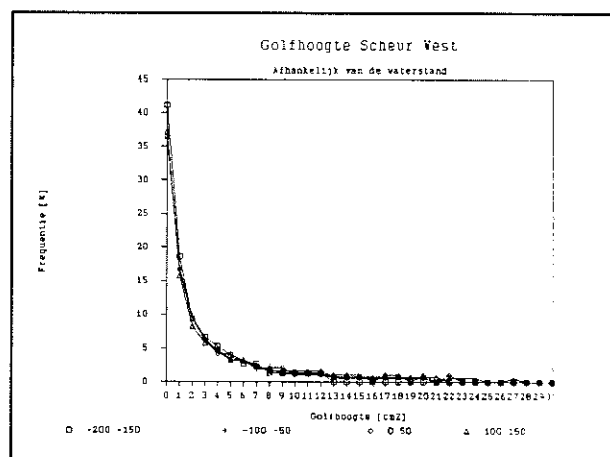
- 38% zonder uitsluiting door golven (dus alleen uitsluiting bij onderschrijding van het manoeuvreercriterium, of overschrijding van de dwarsstroom),
- 41% met uitsluiting door golven, maar zonder toepassing voorspelmatrix,
- 49% met uitsluiting door golven, met toepassing voorspelmatrix.

We zien dat het in rekening brengen van de kans op bodemberoering een stijging geeft van het overligpercentage met 3%. Het in rekening brengen van de voorspelnauwkeurigheid doet het overligpercentage nog eens toenemen met 8%. Dit betekent dat de golfvoorspelling een overheersende invloed heeft op het overligpercentage.

De gevoeligheid voor de lengte van de meetreeks, waarop de voorspelmatrix is gebaseerd, is berekend. Hiertoe is een nieuwe matrix gemaakt, gebaseerd op de oorspronkelijke gegevens en aangevuld met twee halve jaren extra waarnemingen. Het verschil in overligpercentage was minder dan 0,1%. Dit betekent dat de uitkomsten niet significant verschillen.

HARAP biedt de mogelijkheid om een afhankelijkheid in te voeren tussen de opzet (meteo) en het golfklimaat. Directie Zeeland heeft voor 1989 en 1990 het verband gelegd tussen meteo-effect en He10. Er is een effect waarneembaar, dat boven de 40 cm He10 meer opwaaiing voorkomt, dan daar onder. Dit effect is statistisch echter nauwelijks significant: de R^2 -waarde (maat voor de kwaliteit van de regressie) is 12%, of minder en varieert per sterk per jaar. Hierop is besloten dit effect niet mee te nemen.

Een andere mogelijkheid van HARAP is, om het verband in te voeren tussen de absolute waterstand en het golfklimaat. Hiertoe zijn de frequentie-verdelingen per waterstandsklasse, zie [1], met elkaar vergeleken. Voor station Scheur-West is dit weergegeven in Figuur 2. We zien dat de verdelingen bijna samenvallen. Hierop is besloten ook dit effect niet mee te nemen.



Figuur 2 Frequentie-verdeling He10-waarden voor vier waterstandsklassen

Literatuurlijst

- [1] Lieveense, P., Onderzoek tijpoorten Westerschelde. Randvoorwaarden waterstanden, golven en stroomsnelheden. Middelburg, juli 1992. Directie Zeeland, rapport nr AX 92.008.

NOTITIE

C:\wp51\wester\ws_schip.not

Onderwerp: Onderzoek Tijpoorten Westerschelde
 Schepen Westerschelde: klasse-indeling
Van: ir R. Wijnstra
Datum: 21 december 1993
Projectcode: S90.607

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Principe van de scheepsklasse-indeling	2
3	Scheepsaanbod op de Westerschelde	3
4	Scheepsaanbod voor de Sloehaven	6
5	Maatgevende Panamax bulkcarrier	6
6	Maatgevende Cape-Size bulkcarrier	8
7	Principe berekening overdrachtsfuncties	10
8	Overdrachtsfuncties Panamax bulkcarrier	11
9	Overdrachtsfuncties Cape-size bulkcarrier	13
10	Indeling in scheepsklassen	14
11	Gevoeligheidsanalyse	16
	Literatuurlijst	16

1 Inleiding

Het doel van het "Onderzoek Tjipoorten Westerschelde" is om tippoorten te berekenen op een probabilistische wijze. Voor deze berekeningen is het rekenprogramma HARAP beschikbaar. De invoer voor HARAP bestaat uit gegevens over:

- schepen,
- waterstanden,
- golfklimaat,
- de geul zelf.

Deze gegevens worden in afzonderlijke notities behandeld. In deze notitie worden de gegevens over de klasse-indeling van de schepen behandeld. Deze notitie vormt een onderdeel van de eindrapportage over het uitgevoerde onderzoek. De overige gegevens, inclusief die over de scheepssnelheden, worden in separate notities behandeld.

De basisgegevens over het scheepsaanbod op de Westerschelde zijn ontleend aan het zogenaamde Microfiche-bestand van de Schelde Radar Keten. Aangezien de keten pas sinds maart 1991 operationeel is, kon slechts een beperkte periode geanalyseerd worden. Gekozen is voor een periode van een half jaar: april tot en met oktober, met uitzondering van augustus. De gegevens van augustus bleken problemen bij de verwerking te leveren.

In deze notitie wordt eerst het scheepsaanbod op de Westerschelde en meer speciaal voor de Sloehaven geanalyseerd. Vervolgens worden op basis hiervan maatgevende schepen gekozen. Voor deze schepen worden overdrachtsfuncties gepresenteerd. Tot slot worden de belangrijkste resultaten van de gevoeligheidsanalyse gepresenteerd.

2 Principe van de scheepsklasse-indeling

De scheepsklasse-indeling is van belang voor het berekenen van de kans op bodemberoering. Deze kans wordt beïnvloed door de kielspeling van het varende schip en door de verticale scheepsbewegingen. De kielspeling hangt af van de diepgang van het schip, van de inzinking van het schip ten gevolg van de scheepsnelheid (squat), van de waterstand en van de geuldiepte. De scheepsbewegingen zijn een gevolg van de golven. De hoeveelheid scheepsbeweging hangt af van scheepsgebonden gegevens en van de lokale omstandigheden. De belangrijkste scheepsgebonden gegevens zijn:

- hoofdafmetingen,
- vorm van het onderwaterschip,
- ligging van het gewichtszwaartepunt.

De lokale omstandigheden zijn:

- golfklimaat,
- scheepssnelheid,
- stroomsnelheid,
- waterdiepte.

Het is met de huidige kennis niet mogelijk om te bepalen hoe groot de invloed is van elk van de scheepsgegevens op de scheepsbewegingen¹⁾. Daarom wordt het te verwachten scheepsaanbod verdeeld in klassen. Zo'n klasse-indeling kan bijvoorbeeld op scheepstype en/of tonnage zijn. Vervolgens wordt binnen elke klasse een maatgevend schip gekozen. Maatgevend betekent in dat geval dat aangenomen mag worden dat het schip relatief veel beweging heeft ten opzichte van andere schepen in dezelfde klasse. Van dit "maatgevend" schip worden vervolgens de scheepsbewegingen berekend bij verschillende snelheden en voor verschillende waterdiepte/diepgang-verhoudingen. Aangenomen wordt dat andere schepen binnen de klasse dezelfde bewegingen hebben, uiteraard bij dezelfde snelheid en dezelfde waterdiepte/diepgang-verhouding.

3 Scheepsaanbod op de Westerschelde

Het scheepsaanbod op de Westerschelde is geanalyseerd met behulp van de gegevens uit het bestand van de Schelde Radar Keten over de perioden april tot en met juli, september en oktober 1991. Uit dit bestand is een selectie gemaakt van alle schepen met een diepgang van meer dan 11 meter, met bestemming Vlissingen, Gent/Terneuzen, of Antwerpen. In tabel I is de verdeling naar scheepstype weergegeven. In figuur 1 tot en met 6 worden de afmetingen van de drie belangrijkste types grafisch weergegeven²⁾.

Het grote aandeel bulkcarriers en tankers in deze tabel is een gevolg van het feit dat alleen gekeken is naar schepen met een diepgang groter dan 11 meter. Dit is voor container- en general cargo schepen vrij veel. Met verdergaande schaalvergroting in de containervaart mag verwacht worden dat

Tabel I Verdeling scheepstypes Westerschelde met diepgang groter dan 11 meter

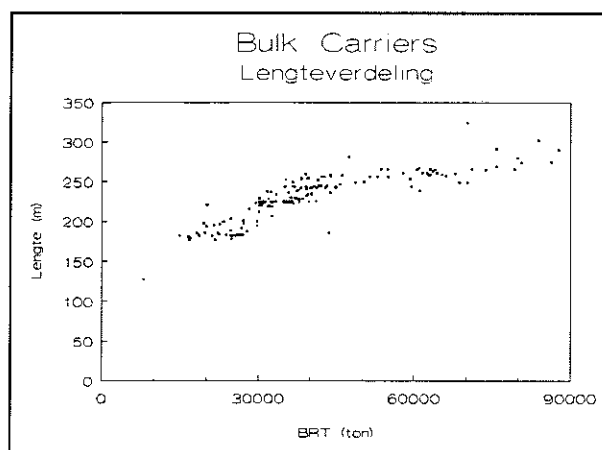
Type	Aantal	Aandeel
Bulk carrier	285	70%
Tanker	95	23%
Container + Ro-Ro	11	3%
General Cargo	6	1%
Gas carrier	11	3%
Totaal	408	100%

Aantallen in 6 maanden van 1991

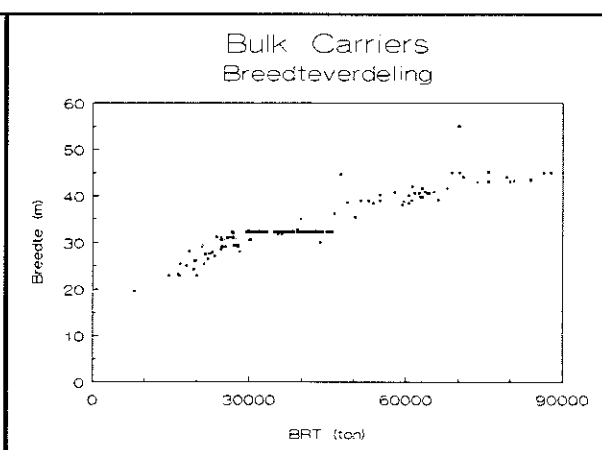
¹⁾Parallel aan het tipoorten onderzoek is in opdracht van AVV een onderzoek hier naar uitgevoerd. Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt, dat de absolute afmetingen van het schip, in combinatie met de GM-waarde, in belangrijke mate de scheepsbewegingen bepalen. Op basis van dit onderzoek is opdracht gegeven voor de bouw van een rekenmodel, waarmee voor individuele schepen de bewegingen voorspeld kunnen worden. Dit model zal eind 1993 beschikbaar zijn. Begin 1994 wordt in overleg met de verschillende geulbeheerders besloten of het model operationeel gemaakt zal worden.

²⁾De scheepsgrootte wordt bij voorkeur weergegeven met het Deadweight (DWT), in tonnen. Deze parameter is eenduidiger dan de Bruto Register Ton (BRT). Helaas wordt het DWT nog niet in de SRK-bestanden opgeslagen, zodat gewerkt is met de BRT.

het aantal containerschepen met een diepgang van 12 tot 13 meter in de toekomst zal toenemen.

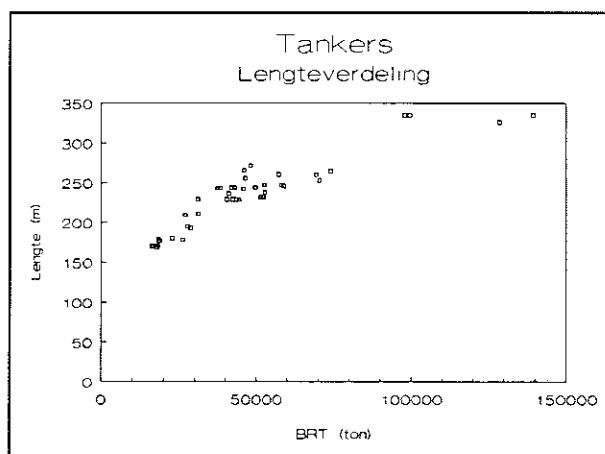


Figuur 1

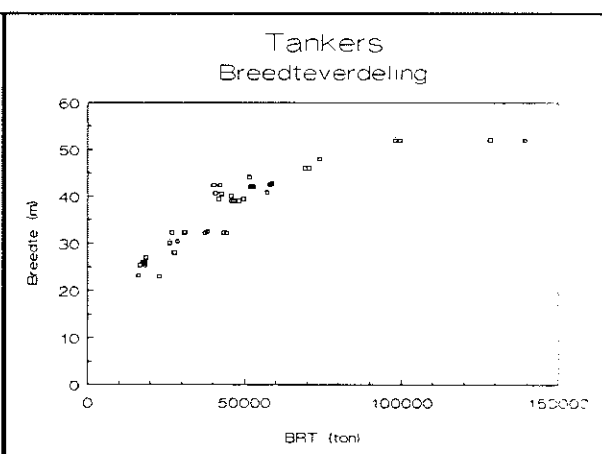


Figuur 2

Bekijken we het aanbod bulkcarriers op de Westerschelde nader, dan zien we in figuur 1 en 2 een duidelijke concentratie van schepen rond de 40.000 BRT. Dit zijn Panamax-schepen met een lengte tot 260 meter en een maximale breedte van 32,31 meter. Boven het tonnage van de Panamax-schepen valt een gat in de verdelingen, doordat de Panamax-breedte een discontinuïteit veroorzaakt in de scheepsgrootte-verdeling. De grotere schepen kunnen aangeduid worden als Cape-Sizers: schepen die niet door het Panama-kanaal kunnen, maar Kaap Hoorn ronden. Deze schepen zijn tussen de 50.000 en 90.000 BRT, hebben een lengte van 250 tot 290 meter en een breedte van 39 tot 45 meter. De diepgang ligt tussen de 14 en 15 meter. Dieper is niet mogelijk door de maximaal toelaatbare diepte op de Westerschelde.



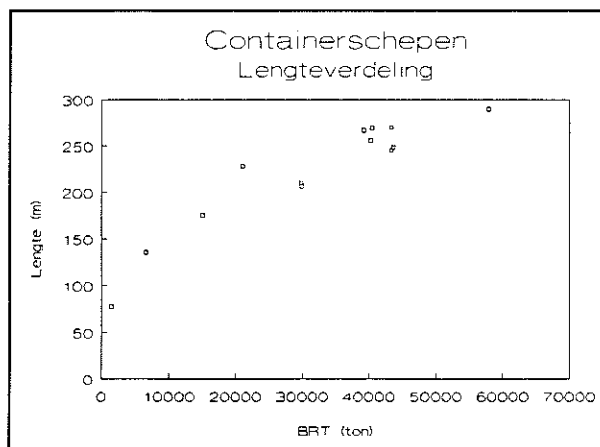
Figuur 3



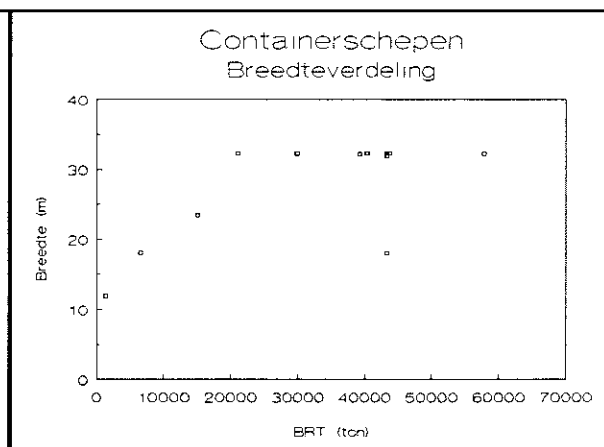
Figuur 4

De tankers zijn minder afhankelijk van de afmetingen van het Panama-kanaal, hoewel we in figuur 4 nog wel een concentratie bij de breedte van 32,3 meter zien. In figuur 3 zien we dat de meeste schepen een lengte van 225 tot 250 meter en een breedte van 40 meter

hebben. Daarboven zien we nog 4 uitschieters met een lengte van 330 meter en een breedte van 52 meter.



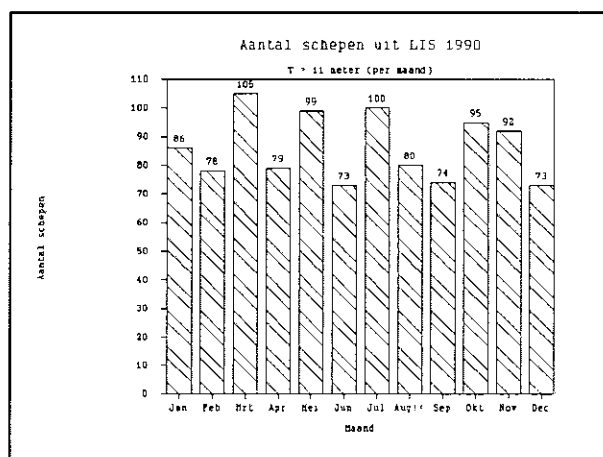
Figuur 5



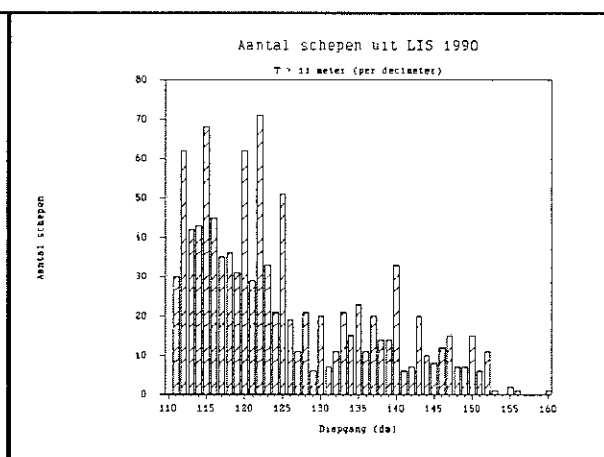
Figuur 6

Bij de containerschepen zijn in de geanalyseerde periode geen post-panamax afmetingen voorgekomen: de maximale breedte is 32,3 meter. De lengte van de meeste schepen ligt tussen de 230 en 260 meter, terwijl de maximale lengte 290 meter is, zie figuur 5 en 6.

Voor het veiligheids criterium is het totale aantal tijgebonden schepen van belang. Ten behoeve hiervan zijn in figuur 7 en 8 de diepgangen van alle categorieën schepen uit tabel I uitgezet. In figuur 7 zien we de verdeling van het aantal schepen met een diepgang van meer dan 11 meter over het jaar. Figuur 8 toont het aantal schepen per diepgangscategorie.



Figuur 7



Figuur 8

4 Scheepsaanbod voor de Sloehaven

Dit onderzoek beperkt zich tot schepen met bestemming Sloehaven. Dit kunnen ook schepen zijn, die eerst op de ankerplaats Everingen gelichterd worden tot een diepgang waarmee de Sloehaven kan worden binnengelopen. De maximale diepgang voor de Sloehaven is momenteel 15,20 meter. In tabel II zien we alle schepen, die bij aankomst in de Westerschelde dieper staken dan 11 meter en als bestemming de Sloehaven hadden. Het blijkt dat dit voor driekwart bulkcarriers zijn. Voor de helft zijn dit Panamax bulkcarriers en de andere helft zijn Cape-Sizer bulkcarriers tot 266 meter lengte en 45 meter breedte. De overige schepen zijn vooral gascarriers en in mindere mate containerschepen en tankers. De diepgang van deze overige schepen is minder dan 12 meter, met uitzondering van één gascarrier met een diepgang van 12,5 meter.

Tabel II Verdeling scheepstypes met bestemming Sloehaven en diepgang groter dan 11 meter

Type	Aantal	Aandeel
Bulk carrier	16	76%
Tanker	1	5%
Container + Ro-Ro	1	5%
General Cargo	0	0%
Gas carrier	3	14%
Totaal	21	100%

Aantal schepen gedurende 6 maanden in 1991

Gezien het kleine aantal schepen dat geen bulkcarrier is en de relatief kleine diepgang van deze schepen concentreren we ons in de rest van deze notitie op de Panamax en de Cape-size bulkcarriers.

5 Maatgevende Panamax bulkcarrier

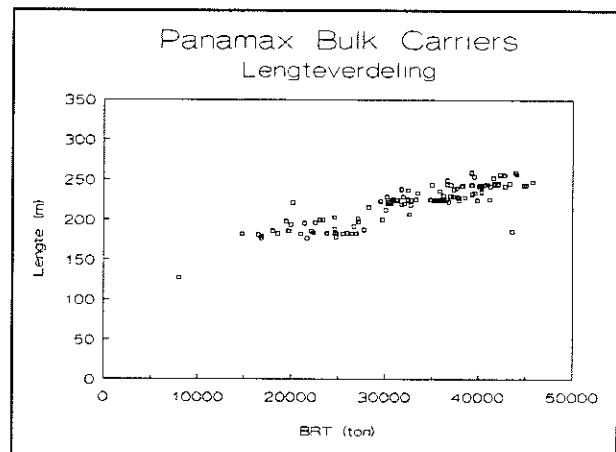
De kenmerken van de Panamax bulkcarriers, die op de Westerschelde varen, zijn bepaald door een selectie te maken uit het bestand van de Schelde Radar Keten. Er is voor gekozen om alle schepen te analyseren en niet alleen de schepen met bestemming Sloehaven. Deze laatste categorie omvat namelijk slechts 8 schepen, hetgeen te weinig is voor een

Tabel III Kenmerken Panamax bulkcarriers op de Westerschelde

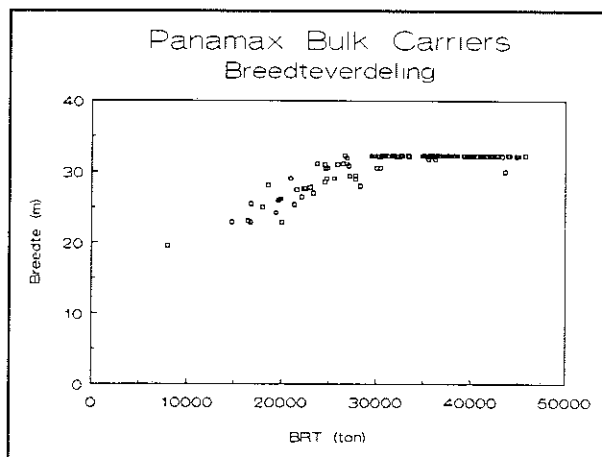
	Gem	Std. afw.	Min	Max
Lengte over alles (m)	227,0	23,2	127,4	259,5
Breedte (m)	31,3	2,3	19,5	32,3
Diepgang (werkelijk)(m)	12,6	1,0	11,1	15,2
BRT	34997	7495	8014	45760

goede analyse. De selectie omvat alle schepen, die in opvaart een diepgang van meer dan 11 meter hadden en een breedte kleiner dan 32,35 meter. In de perioden april tot en met juli, september en oktober 1991 waren dit 216 schepen. Een aantal statistische bepaalde kenmerken van deze schepen is te zien in tabel III.

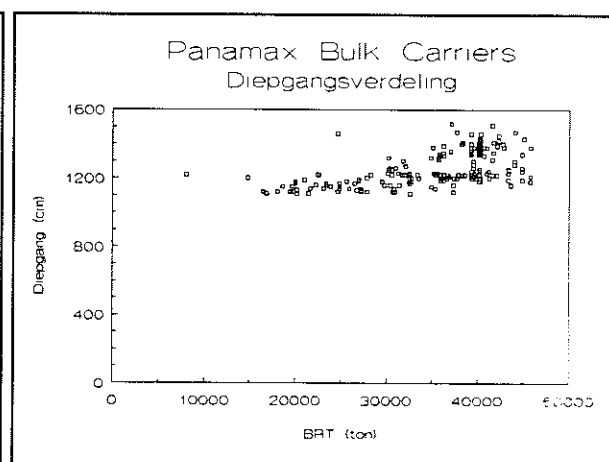
In figuur 9 tot en met 11 zijn de hoofdafmetingen uitgezet tegen de scheepsgrootte (gemeten in BRT: Bruto Register Tonnen). We zien dat er een goede correlatie is tussen de lengte en het tonnage. De breedte van de schepen wordt beperkt door Panamakanaal: tot ongeveer 30000 BRT neemt de breedte toe, daarboven blijft deze constant. De diepgangsverdeling vertoont geen duidelijk verband met de scheepsgrootte. Dit komt doordat de actuele diepgang geregistreerd is en niet de maximale diepgang. Deze laatste parameter hangt in de regel wel af van de scheepsgrootte.



Figuur 9



Figuur 10



Figuur 11

Als maatgevende Panamax bulkcarrier is een schip gekozen, waarvan de hoofdafmetingen overeenkomen met het gemiddelde beeld, dat uit de analyse volgde. De afmetingen van dit schip worden getoond in tabel IV.

Vervolgens is een beladingsconditie gekozen, waarbij de grootste bewegingen verwacht mogen worden. Het slingeren van het schip wordt voor een groot deel bepaald door de GM-waarde: de afstand tussen het gewichtszwaartepunt van het schip (met lading) en het metacenter. De ligging van het gewichtszwaartepunt hangt af van de verdeling van de eigen massa van het schip, van de hoeveelheid en de soort lading en van de aanwezigheid van niet geheel gevulde ballast- en voorraadtanks (vrije vloeistofoppervlak). Het metacenter is een fiktief draaipunt voor de slingerbeweging. Deze hoogte wordt voor een gegeven schip bepaald door de diepgang.

Tabel IV Dimensies maatgevende Panamax bulk carrier

Lengte over alles (m)	224,4
Lengte loodlijnen (m)	215,0
Breedte (op de mal)(m)	32,2
Diepgang (max, op de mal)(m)	13,1
Holte (op de mal)(m)	18,0
BRT	35600
Displacement (ton)	77140
Deadweight (ton)	65.000

De grootste slingerbewegingen treden op bij kleine GM-waarden. De kleinste GM-waarde van het gekozen schip treedt volgens de beladingstabellen op in de homogeen beladen toestand (met relatief lichte lading). In tabel V worden de relevante hydrostatische groot-heden gegeven die bij deze beladings-toestand horen.

De overdrachtsfuncties van het maatge-vende schip zijn door het Marin bere-kend. Dit gebeurt op basis van een lij-nenplan, dat door het Marin is gege-nereerd op basis van de genoemde hy-drostatische gegevens uit tabel V. De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee verschillende waterdieptes bij een stilligend schip en bij 2 voorwaartse snelheden.

Tabel V Hydrostatische gegevens maatgevende Panamax bulk carrier

Zwaartepunt-hoogte (m)	9,8
Metacenter-hoogte (m)	13,1
GM (m)	3,3
Lengte-ligging drukkingpunt (m)	4,4
Trim (m)	0,0

6 Maatgevende Cape-Size bulkcarrier

De Cape-size bulkcarriers zijn op dezelfde wijze geanalyseerd als de Panamax bulkcar-riers in de vorige paragraaf. Aangezien de Sloehaven door slechts 8 Cape-size bulkcar-riers met een diepgang groter dan 11 meter is aangedaan, is ook hier ervoor gekozen om alle opvarende schepen op de Westerschelde te analyseren. Cape-size bulkcarriers zijn hierbij gedefinieerd als alle bulkcarriers met een breedte groter dan 32,35 meter. In totaal voldeden in de genoemde periode van 6 maanden 61 schepen aan de criteria voor diep-gang, breedte en scheepstype. In tabel VI en figuur 12 en 13 zien we de resultaten van de

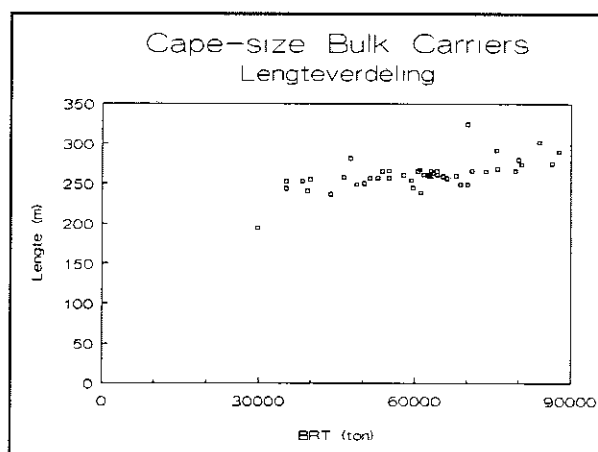
Tabel VI Kenmerken Cape-size bulkcarriers op de Westerschelde

statistische analyse van de hoofdafmetingen.

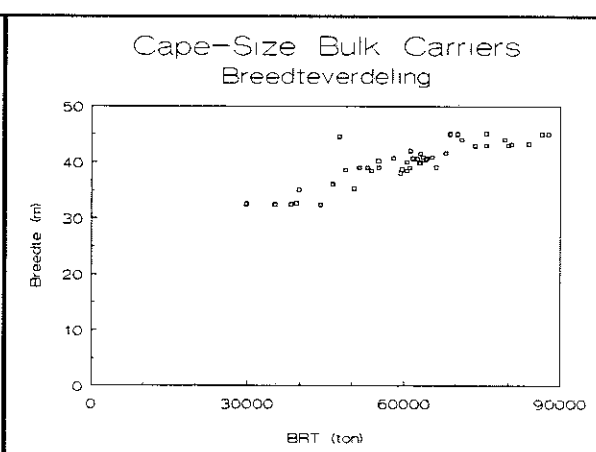
Uit een nadere analyse van de lengte- en breedteverdeling blijkt dat 67% van de schepen een lengte heeft tussen de 250 en 270 meter. De verdeling van de breedte is relatief vlakker: 65% van de schepen heeft een breedte tussen 39 en 46 meter. Op basis

	Gem	Std. afw.	Min	Max
Lengte over alles (m)	261,0	16,9	194,6	324,1
Breedte (m)	40,0	4,2	32,4	55,1
Diepgang (werkelijk)(m)	14,1	0,9	11,4	15,4
BRT	60708	13657	29802	87709

van deze gegevens is gekozen voor een schip met de dimensies, die in tabel VII genoemd worden.



Figuur 12



Figuur 13

De hydrostatische gegevens dienen gebaseerd te worden op een bepaalde beladingsconditie. Gezocht is naar een beladingsconditie waarbij grote slingerbewegingen optreden. Dit is het geval bij een kleine GM-waarde. Dit kleinste GM-waardes bij dit type schepen komen voor bij belading met erts. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat erts in een beperkt aantal ruimen wordt geladen, waardoor het zwaartepunt hoger komt te liggen dan indien de lading over alle ruimen verdeeld wordt. Gekozen is voor de volgende beladingsconditie:

- vol beladen met erts met een soortelijke massa van $21,7 \text{ ton/m}^3$,
- 100% voorraden,
- ballast- en voorraadtanks zoals bij aankomst.

Bij deze conditie gelden de waarden in tabel VIII.

Van een schip met de kenmerken uit tabel VII en VIII is een lijnenplan beschikbaar. Op basis van dit lijnenplan en voor de aangegeven beladingstoestand zijn door het Marin overdrachtsfuncties berekend. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor twee verschillende waterdieptes bij een stilligend schip en bij 2 voorwaartse snelheden.

Tabel VII Dimensies maatgevende Cape-size bulkcarrier

Lengte over alles (m)	270,0
Lengte loodlijnen (m)	258,0
Breedte (op de mal)(m)	42,0
Diepgang (max, op de mal)(m)	17,0
Holte (op de mal)(m)	23,0
BRT	70530
Displacement (ton)	152800

Tabel VIII Hydrostatische gegevens maatgevende Cape-size bulkcarrier

Zwaartepunt-hoogte (m)	12,9
Metacenter-hoogte (m)	17,4
GM (m)	4,5
Lengte-ligging drukingspunt (m)	5,9
Trim (m)	0,0

7 Principe berekening overdrachtsfuncties

Het programma "DIFFRAC" van het MARIN berekent de responsie van een schip in golven. Dit programma is gebaseerd op een lineaire zeegangsgedrag theorie. Daarna is gebruik gemaakt van het programma "DBSNELH", om het effect van voorwaartse snelheid in rekening te brengen. Een uitgebreide beschrijving van deze programma's en de uitgevoerde berekeningen is te vinden in het rapport "Motion response of two bulkcarriers in waves" [1].

De berekeningen zijn uitgevoerd voor:

- 2 typen schepen: Panamax en Cape-size bulkcarrier,
- 2 verschillende kielspelingspercentages: 15% en 25% ($Wd/T=1,15$, $Wd/T=1,25$),
- 13 golfinvalrichtingen: 0 tot 180 graden met stappen van 15 graden,
- 3 scheepssnelheden: 0, 3,1 en 6,2 meter per seconde (0, 6, 12 knoop),
- 7 verschillende punten van het schip: het zwaartepunt, het vlak ter plaatse van de voor- en achtersteven en de voor- en achterschouders³⁾.

Als invoer voor de berekeningen zijn de gegevens gebruikt, die in de paragrafen van de betreffende scheepstypes zijn genoemd. De volledige uitvoer in het MARIN-rapport bestaat uit tabellen en grafieken. De tabellen bevatten twee soorten gegevens. De eerste soort is de scheepsresponsie op een enkelvoudige golf, voor verschillende golffrequenties. Deze responsies bepalen de eigenlijke overdrachtsfuncties. Deze gegevens worden door de Dienst Getijde Wateren (DGW) gebruikt om de scheepsbewegingen te berekenen in het golfklimaat, zoals dat in het buitengebied van de Westerschelde voorkomt. Voor het tweede deel van de uitvoer heeft het MARIN zelf de overdrachtsfuncties geconfronteerd met een standaard (Jonswap) golfspectrum.

De mate waarin het schip reageert op golven is onder andere afhankelijk van de golfrichting, terwijl per golfrichting op een ander punt op de bodem van het schip de grootste bewegingen kunnen optreden. Bij golven op de kop van het schip, zullen bijvoorbeeld de bewegingen bij de boeg het grootst zijn, terwijl bij dwarse golven de bewegingen op één van de schouders het grootst zijn. Voor de HARAP-berekeningen zijn we vooral geïnteresseerd in de maximale bewegingen die kunnen optreden, ongeacht de golfrichting. Deze keuze voor de ongunstigste situatie is nodig, aangezien er geen goede voorspelling mogelijk is van de golfrichtingen.

Met behulp van de berekende scheepsbewegingen in het standaard golfspectrum is door AVV een voorselectie gemaakt van combinaties van golfrichtingen en punten, waarbij relatief veel bewegingen optreden. Deze combinaties zijn door DGW verder verwerkt tot een relatie tussen het golfklimaat en de scheepsbewegingen [2].

8 Overdrachtsfuncties Panamax bulkcarrier

Voor de Panamax bulkcarrier zijn 6 combinaties van golfrichtingen en punten geselecteerd voor verdere bewerking door DGW. Deze combinaties worden genoemd in Tabel IX. De gevolgde berekeningsmethode en -resultaten worden uitgebreid besproken in het Werkdocument van DGW [2]. De belangrijkste numerieke uitkomsten staan samengevat in Tabel X.

Uit de vergelijking van de resultaten van de verschillende combinaties blijkt dat het kritieke punt, dus het punt waar de meeste bewegingen optreden, bij lage snelheden de ach-

³⁾ Vlak: bodem van het schip

Schouders: uiterste punten van het vlak, waar nog juist de volle breedte van het schip aanwezig is.

terstevan is en bij hoge snelheden de boeg. De golfvalrichting waarbij de meeste bewegingen optreden is 75°.

Op basis van de gevonden relaties tussen golfenergie en scheepsbewegingen worden twee conclusies getrokken.

- De hoeveelheid laagfrequente golfenergie (He10) is een matige voorspelparameter voor de hoeveelheid scheepsbewegingsenergie (regressie-rendementen rond de 60%, zie bovenste helft Tabel X).
- De scheepsbewegingen laten zich beter voorspellen door een

Tabel IX Combinaties Panamax bulkcarrier, die nader geanalyseerd zijn

Golfin- valshoek ¹	Punten vlak schip
30°	Stuurboord voorschouder Achterstevan
75°	Voorstevan Achterstevan
105°	Voorstevan Achterstevan

¹ 0° is recht van achter

Tabel X Relatie golfenergie en scheepsbewegingsenergie Panamax bulkcarrier

Coëfficiënten uit de relatie: $Hm0sch = a1 * He10 + a2 * Hrs + b$

h/T [-]	v [m/s]	a1 [-]	a2 [-]	b [m]	Rendement regressie [%]
1,15	0,00	2,567		0,261	66
1,15	3,09	2,610		0,379	54
1,15	6,17	3,189		0,393	60
1,25	0,00	2,868		0,365	57
1,25	3,09	3,146		0,327	65
1,25	6,17	3,406		0,513	53
1,15	0,00	2,017	0,422	-0,249	85
1,15	3,09	1,800	0,620	-0,370	81
1,15	6,17	2,352	0,641	-0,382	82
1,25	0,00	2,051	0,626	-0,392	80
1,25	3,09	2,452	0,5320	-0,316	85
1,25	6,17	2,307	0,842	-0,505	79

combinatie van de He10 met de restenergie uit het spectrum (onderste helft Tabel X).

Uit deze conclusies volgt de aanbeveling HARAP zodanig aan te passen, dat de scheepsenergie op basis van deze twee parameters berekend kan worden (zie ook paragraaf 11, gevoeligheidsanalyse).

9 Overdrachtsfuncties Cape-size bulkcarrier

Uit de MARIN-rapportage [1] bleek dat voor de Cape-size bulkcarrier slechts één golf-richting maatgevend is: 75°. Bij deze richting vertonen drie punten ongeveer evenveel bewegingen. Deze punten zijn de voorsteven, de achtersteven en de stuurboord achter-schouder. Het resultaat van de DGW-berekeningen [2] is, dat de voorsteven maatgevend is. De numerieke resultaten van dit punt staan samengevat in Tabel XI.

Tabel XI Relatie golfenergie en scheepsbewegingsenergie Cape size bulkcarrier

Coëfficiënten uit de relatie: $H_{m0sch} = a_1 * H_{e10} + a_2 * H_{rs} + b$

h/T [-]	Snelheid [m/s]	a1 [-]	a2 [-]	b [m]	Rendement regressie [%]
1,15	0,00	2,102		0,103	78
1,15	3,09	2,309		0,141	78
1,15	6,17	2,619		0,229	69
1,25	0,00	2,408		0,137	79
1,25	3,09	2,570		0,195	73
1,25	6,17	2,825		0,304	63
1,15	0,00	1,928	0,133	-0,057	82
1,15	3,09	2,021	0,220	-0,125	87
1,15	6,17	2,121	0,381	-0,232	84
1,25	0,00	2,147	0,199	-0,104	86
1,25	3,09	2,142	0,328	-0,201	87
1,25	6,17	2,159	0,510	-0,312	82

In de onderste helft van Tabel XI zien we dat de voorspellende waarde van de H_{e10} -parameter, met de restenergie beter is dan die van de H_{e10} alleen (bovenste helft van de tabel). Dit resultaat komt overeen met hetgeen bij de Panamax bulkcarrier geconstateerd werd. Het verschil is echter wel kleiner. Dit is in overeenstemming met het feit, dat

naarmate een schip groter, het meer reageert op laagfrequente golfenergie en minder op hoogfrequente.

10 Indeling in scheepsklassen

Op basis van de voorgaande paragrafen is het mogelijk een indeling in scheepsklassen te maken. Hierbij worden de volgende hoofdgroepen voorgesteld:

Panamax bulkcarriers, dit zijn bulkcarriers met een breedte van minder dan 32,35 meter;

Cape-size bulkcarriers, dit zijn bulkcarriers met een breedte van 32,35 of meer;

Slanke schepen, zoals containerschepen, general cargo en gas carriers.

Tankers met bestemming Sloehaven komen relatief weinig voor (paragraaf 4). Daarom is hiervoor geen aparte klasse gedefinieerd. In voorkomende gevallen kunnen ze worden toegelaten op basis van de bulkcarrier tijpoorten. Bij deze benadering wordt de veiligheid geen geweld aangedaan: bij de Euro-maas-geul is gebleken dat tankers ruimere tijpoorten krijgen dan bulkcarriers.

Voor de categorie slanke schepen (container, general cargo en gas carrier) worden - conform de afspraken met de opdrachtgever - in het kader van dit onderzoek geen tijpoorten berekend. Desgewenst kan dit alsnog in een afzonderlijk onderzoek gebeuren.

Tabel XII Indeling scheepstypes in hoofdgroepen

Code	Type	Bestemming
S	CapeSize	Sloehaven
T	CapeSize	Everingen
P	Panamax	Sloehaven
R	Panamax	Everingen

De twee bulkcarrier hoofdgroepen zijn verder gesplitst naar bestemming. Als eerste bestemming wordt gekeken naar de vaart op de Sloehaven. De tweede bestemming is de ankerplaats Everingen. In het laatste geval hoeft geen rekening gehouden te worden met het stroomvenster bij de mond van de Sloehaven en kan met een lagere snelheid door de Scheurpas worden gevaren. Dit leidt tot de indeling, met bijbehorende codering, zoals weergegeven in Tabel XII.

Binnen de hoofdgroepen wordt een onderverdeling gemaakt naar diepgang. Hierbij dient een ondergrens, een bovengrens en een klasse-grootte vastgesteld te worden. Voor de ondergrens is in eerste instantie uitgegaan van de diepgang, die momenteel nog net als tijgebonden wordt beschouwd: 11,5 meter. Uit de berekeningen bleek dat schepen met een kleinere diepgang wel onder alle getij- en golfcondities kunnen opvaren, maar niet in elke getijfase. Voor de schepen met bestemming Sloehaven ligt dit voor de hand: er dient een zodanig opvaartijdstip gekozen te worden, dat de aankomst rond de stroomkentering bij de havenmond valt. Aanbevolen wordt voor deze schepen geen tijpoorten af te geven, maar het aan de loods en de kapitein over te laten een zodanig vaarplan te kiezen, dat de aankomst valt rond de stroomkentering (van hoogwater). Bij golfhoogtes van minder dan 0,20 meter kan ook op laagwater worden gevaren.

Tabel XIII Diepgangsverdeling bulkcarriers

Voor schepen met een diepgang van 9 tot 11 meter, die bestemming ankerplaats Everingen hebben, geldt dat bij grotere golfhoogtes geen opvaart in elke getijfase meer mogelijk is. Voor deze schepen kan in de praktijk op twee verschillende manieren de veiligheid gewaarborgd worden. Volgens de eerste manier wordt een algemeen advies gegeven om, bij golfhoogtes van 0,20 meter (H_{e10}), of meer, op te varen tussen 4 en 0 uur voor hoogwater Vlissingen. Een nadeel van deze aanbeveling is dat onder de meeste omstandigheden een ruimer tijpoort mogelijk is. De tweede mogelijke manier is dan ook om alsnog tijpoorten te berekenen voor deze schepen.

De bovengrens aan de diepgangsindeling is niet hard vast te stellen. Bij elke diepgang hoort een bepaalde toegankelijkheid. In dit rapport worden de uitkomsten gepresenteerd tot maximaal 15,40 meter voor de Cape-sizers en 14,60 meter voor de Panamax-klasse. De opdrachtgever kan op basis van de gepresenteerde resultaten een maximum kiezen.

De stapgrootte van de diepgangsindeling is tijdens de gevoeligheidsanalyse bepaald op basis van twee criteria. In de eerste plaats mag het verschil in toegankelijkheid tussen twee klassen niet te groot zijn. Er is naar gestreefd om het verschil tussen de overligpercentages van twee opeenvolgende klassen niet groter te laten zijn dan 3% (absolute waarde). In de tweede plaats is als minimale klassegrootte 0,10 meter aangehouden. Smallere klassen zouden schijnnaauwkeurigheid geven. Dit betekent wel, dat in de hogere klasse de eis van 3% verschil in overligpercentage niet gehaald wordt.

Diepgangs-klasse	Diepgang (cm)		WATERVERPLAATSING (ton)	
	Van-af	Tot en met	Panamax	Cape-Size
*1	1100	1160	67700	101500
*2	1160	1220	71500	106900
*3	1220	1250	73500	109700
*4	1250	1280	75300	112400
*5	1280	1310	77100	115100
*6	1310	1340	79100	118100
*7	1340	1370	81000	120900
*8	1370	1400	82900	123800
*9	1400	1420	84200	125700
*10	1420	1440	85400	127600
*11	1440	1460	86700	129500
*12	1460	1470	87300	130400
*13	1470	1480	88000	131400
*14	1480	1490	88600	132300
*15	1490	1500	89223	133257
*16	1500	1510	89900	134200
*17	1510	1520	90500	135200
*18	1520	1530	91100	136100
*19	1530	1540	91800	137100

Op de plaats van het * komt de scheepstypecode te staan (S/T/P/R)

De genoemde waterverplaatsing hoort bij de bovengrens van de diepgangsklasse

De resulterende klasse-indeling is weergegeven in Tabel XIII. In deze tabel wordt tevens voor beide scheepstypes de waterverplaatsing genoemd, die hoort bij de bovengrens van elke diepgangsklasse. Deze waterverplaatsing wordt gebruikt voor de squat-berekening en heeft geen betekenis voor de klasse-indeling zelf. De waarden zijn ontleend aan de hydrostatische gegevens van de gebruikte maatgevende schepen.

11 Gevoeligheidsanalyse

Het eerste onderdeel van de gevoeligheidsanalyse was het bepalen van de stapgrootte van de diepgangsklasse-indeling. Dit is reeds in paragraaf 10 behandeld.

Het tweede deel bestond uit een analyse van het verschil in uitkomsten van de Panamax en de Cape-size bulkcarrier. Panamax-schepen krijgen minder, en kortere, tijpoorten dan Cape-sizers met dezelfde diepgang. Andersom bekeken hebben Panamax-schepen een toegankelijkheid die vergelijkbaar is met die van Cape-sizers met een meter meer diepgang. Dit verschil is voor een deel toe te schrijven aan het verschil in bewegingsgedrag: de Panamaxers bewegen meer op de golven dan de Cape-sizers.

Uit nadere analyse blijkt, dat een belangrijk oorzaak voor het verschil in toegankelijkheid is gelegen in de keuze van de golfparameter, waaraan de scheepsbewegingen gerelateerd worden. In paragraaf 8 en 9 is reeds aangegeven dat de laagfrequente energie (He10-parameter) een beter voorspeller is voor grotere schepen, zoals de Cape-sizer, dan voor een Panamax-schip. De bewegingen van Panamax-schip laten zich beter voorspellen, indien er een meervoudige regressie, met zowel laagfrequente, als hoogfrequente energie, toegepast wordt. Een gevolg hiervan is, dat in de probabilistische berekeningen een grote spreidingsparameter meegenomen moet worden.

Het aandeel van de grote spreiding is bepaald door een herberekening uit te voeren voor een Panamax van 14 meter diep (P8), met een kleinere spreidingsparameter. Voor deze kleinere spreidingsparameter is de waarde genomen, die bij de meervoudige regressie hoort. Het blijkt dat zowel het overliggerpercentage als de tijpoortlengte vergelijkbaar worden met die van een Cape-sizer met 0,20 meter meer diepgang. Dit betekent dat voor de Panamax-schepen ongeveer 0,8 meter toegankelijkheid valt te winnen. Op basis van dit resultaat wordt sterk aanbevolen een vervolgonderzoek uit te voeren, waarin HARAP geschikt wordt gemaakt voor het rekenen met een tweevoudige verband tussen de golf-energie en de scheepsbewegingen en waarin herberekeningen worden uitgevoerd voor de Panamax-bulkcarriers.

Literatuurlijst

- [1] Dallinga, Ir. R.P., Motion response of two bulkcarriers in waves (Volume I - V). Wageningen, maart 1992. MARIN, report no. 010281-1-OE
- [2] Groos, J., Relaties tussen laagfrequente golfparameters en scheepsbewegingen bij de toegangsgeul naar de Westerschelde. Den Haag, maart 1992. Werkdocument Dienst Getijdewateren, GWWS-92.114x.

NOTITIE

C:\WP51\WESTER\ws_snel.not

Onderwerp: Onderzoek Tijpoorten Westerschelde
 Schepen Westerschelde: vaarsnelheden
Van: ir R. Wijnstra
Datum: 17 december 1993
Projectcode: S 90.607

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Principe van de indeling in snelheidsregimes	2
3	Gekozen snelheidsregimes	3
4	Gevoeligheidsanalyse	6

1 Inleiding

Het doel van het "Onderzoek Tjpoorten Westerschelde" is om tjpoorten te berekenen op een probabilistische wijze. Voor deze berekeningen is het rekenprogramma HARAP beschikbaar. De invoer voor HARAP bestaat uit gegevens over:

- schepen,
- waterstanden,
- golfklimaat,
- de geul zelf.

In deze notitie worden de snelheidsregimes van de schepen behandeld. Deze notitie vormt een onderdeel van de eindrapportage over het uitgevoerde onderzoek. De overige gegevens, inclusief die over de klasse-indeling van de schepen, worden in seporate notities behandeld.

2 Principe van de indeling in snelheidsregimes

Het snelheidsregime in HARAP bepaalt wanneer een schip in welke positie in de geul is. Op basis hiervan wordt berekend wat de waterstand is tijdens de passage van een geul-segment. Bovendien wordt de snelheid gebruikt voor de squat-berekening. Dit betekent ook dat dit regime de basis wordt voor de tjpoorten zoals die op basis van de berekeningen worden afgegeven. Hierom moeten de rekensnelheden aansluiten bij wat werkelijk haalbaar is in de geul. Om hiervoor zorg te dragen zijn de huidige snelheden geanalyseerd met behulp van gegevens van de Schelde Radar Keten (SRK).

HARAP biedt de mogelijkheid om binnen een snelheidsregime een langzame, gemiddelde en snelle vaart te definiëren. Dit betekent dat er in de praktijk een grote vrijheid wordt toegestaan bij het vaststellen van een vaarplan voor de geulvaart. Er is echter voor gekozen om maar één snelheidscombinatie te definiëren. De reden hiervoor is dat het langzame en snelle regime zorgen voor "divergentie" van de tjpoorten: als het tjpoort aan het begin van de geul een half uur lang is, dan zal deze lengte aan het eind van de geul toenemen. In combinatie met een stroomvenster aan het eind van de geul, leidt dit tot een onnodige beperking van de toegankelijkheid. De gekozen oplossing van één snelheidscombinatie betekent wel, dat alle schepen in staat moeten zijn deze snelheden te varen en dat de mogelijkheid om sneller te varen, dan de aangegeven waarden, beperkt is.

De huidige vaarsnelheden zijn bepaald op basis van de registratie van de SRK uit de periode september tot en met november 1991. Uit statistische analyse blijkt dat alleen het scheepstype en in mindere mate de diepgang invloed hebben op de snelheden. Andere scheepsparameters hebben geen significante invloed. Op basis hiervan zijn voor de bulk-carriers snelheden voor de volgende twee diepgangscategorieën berekend:

- 11,0 tot en met 12,1 meter,
- 12,1 tot en met 15,2 meter.

De snelheden op het eerst traject vertonen een grote spreiding. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan de wisselende hoeveelheid tijd die het kost om een loods aan boord te nemen. De snelheden op de twee trajecten vlak voor en na Vlissingen vertonen eveneens een grote spreiding. Dit is een gevolg van het feit dat niet alle schepen vaart hoeven te

minderen om van loods te wisselen, terwijl de schepen die dit wel doen niet allemaal evenlang hoeven te wachten. De waarden van deze drie trajekten zijn niet gebruikt, maar in overleg met de loodsen bepaald. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de snelheid op het eerste segment van traject 1 is lager dan op het tweede, omdat het schip moet versnellen na het aan boord nemen van de loods,
- in het voorzorgsgebied wordt vaart geminderd, maar er is geen tijd nodig om van loods te wisselen, aangezien de einbestemming de Sloehaven, danwel ankerplaats Everingen, is,
- van Vlissingen tot de ingang van de Sloehaven wordt maximaal op manoeuvreervermogen gevaren,
- de Sloehaven wordt met maximaal 2 meter per seconde binnen gevaren,
- de schepen die doorvaren naar de ankerplaats Everingen bouwen hun snelheid gelijkmatig af.

3 Gekozen snelheidsregimes

Nadat de snelheden uit de SRK geanalyseerd werden, zijn de waarden omgezet naar HARAP invoer. Dit was nodig omdat de segment indeling van HARAP fijner is, dan de indeling van de Radarketen. Deze omzetting is zodanig gedaan dat het gemiddelde over een aantal HARAP-segmenten overeenkomt met de SRK-waarde en dat er tevens een geleidelijk verloop van de snelheden ontstaat. In Tabel I staat het resultaat voor de bestemming Sloehaven en Tabel II geeft het resultaat voor de bestemming ankerplaats Everingen.

In Tabel I worden twee verschillende regimes gegeven, voor respectievelijk schepen onder de 12,10 meter diepgang en schepen met een grotere diepgang. In de gevoeligheidsanalyse blijkt echter dat het ook voor de minder diep stekende schepen gunstiger is om van het, langzamere, regime van de diepere schepen gebruik te maken. Aanbevolen wordt dan ook de tijpoorten voor alle schepen op het langzamere regime te baseren.

Tabel I Snelheidsregime bulkcarriers bestemming Sloehaven (m/s, over de grond)

Geulgegevens					Snelheid (m/s)	
Begin traject	Traject	Segment	Lengte (m)	Diepte -NAP (m)	Diepgang tot 12,10	Diepgang groter dan 12,10
Loodsstation	1	1	7055	16,7	4,0	3,7
	1	2	5160	16,5	7,5	6,0
Scheur 3/4	2	1	3400	16,5	6,6	5,8
Scheur 5/6	3	1	2700	16,7	6,2	5,5
	3	2	3940	16,1	5,8	5,5
	3	3	6020	15,9	6,2	5,8
Wiel 2/3	3	4	6380	15,7	6,0	5,7
	3	5	6300	15,5	5,8	5,4
	3	6	2830	16,9	5,3	5,1
Wiel 8	4	1	6780	18,7	4,8	4,7
	4	2	1110	17,1	3,8	3,8
Vlissingen	5	1	4330	18,9	3,3	3,3
Sloehaven	5	2	10	14,8	2,0	2,0

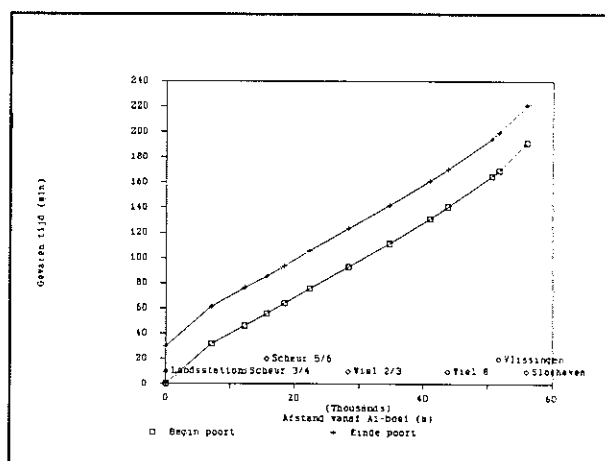
Het snelheidsregime voor schepen met bestemming ankerplaats Everingen is, na de gevoeligheidsanalyse, sterk aangepast. De achtergrond hiervan is, dat een lagere snelheid op de drempels gunstig is voor de squat, terwijl de vaartijd minder van belang is, omdat het stroomvenster bij de Sloehaven niet gehaald hoeft te worden. Tabel II geeft dit regime.

Tabel II Snelheidsregime bulkcarriers bestemming ankerplaats Everingen (m/s, over de grond)

Geulgegevens					Snelheid (m/s)
Begin traject	Traject	Segment	Lengte (m)	Diepte -NAP (m)	
Loodsstation	1	1	7055	16,7	3,7
	1	2	5160	16,5	5,8
Scheur 3/4	2	1	3400	16,5	5,8
Scheur 5/6	3	1	2700	16,7	5,0
	3	2	3940	16,1	4,0
	3	3	6020	15,9	3,5
Wiel 2/3	3	4	6380	15,7	3,5
	3	5	6300	15,5	3,5
	3	6	2830	16,9	3,5
Wiel 8	4	1	6780	18,7	3,5
	4	2	1110	17,1	3,5
Vlissingen	5	1	6000	18,7	3,3
Sloehaven	5	2	5010	18,7	1,5

Voor de squat-berekeningen wordt gewerkt met een toeslag van 1,5 meter per seconde op de genoemde gemiddelde snelheden. Dit betekent dat schepen incidenteel maximaal 1,5 meter per seconde harder mogen varen op een segment, dan aangegeven staat in de tabel.

Figuur 1 geeft een tijd-weg diagram voor de dieper stekende bulkcarriers, met bestemming Sloehaven. In dit diagram is af te lezen op welk tijdstip, ten opzichte van het openen van het tijpoort een schip in de geul is.

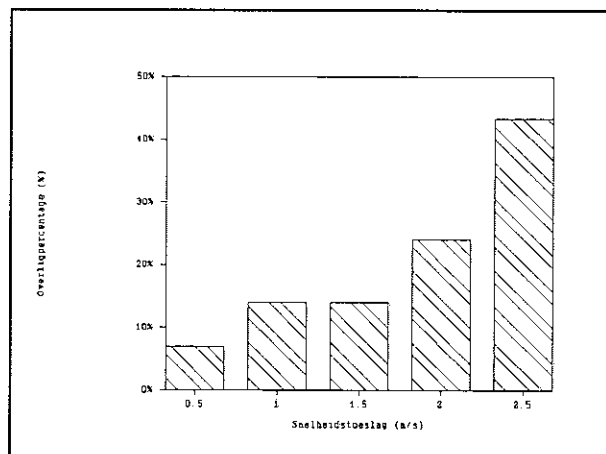


Figuur 1 Tijd-weg diagram bulkcarriers met een diepgang van meer dan 12,10, en bestemming Sloehaven

Na een eerste berekening op basis van de SRK-gegevens is bepaald wat het effect is van aanpassingen van het snelheidsregime. Verhogingen van het gemiddelde over de hele geul is niet mogelijk, omdat een dergelijk regime niet meer door alle schepen gevaren kan worden. Aanpassingen van het hele regime naar beneden, hadden een ongunstige invloed op de toegankelijkheid. Het is voor de dieper stekende schepen dan niet meer mogelijk om op tijd de stroomkentering bij de Sloehaven te halen.

Aanpassingen van de snelheid op individuele segmenten hebben een vergelijkbaar effect, als een aanpassing van de snelheidstoeslag, zie de volgende alinea en Figuur 2. Kleinere aanpassingen van maximaal 0,1 m/s bleken in sommige gevallen een positieve invloed te hebben op de toegankelijkheid. Deze aanpassingen zijn verwerkt in de tabellen uit de vorige paragraaf.

De snelheidstoeslag ten bate van de squatberekening blijkt een grote invloed te hebben op de toegankelijkheid. In Figuur 2 zien we de invloed van deze toeslag op het overligpercentage. De invloed is bepaald voor een bulkcarrier met een diepgang van 14,8 meter. *(N.B. De absolute waarden in deze grafiek kunnen licht afwijken van de definitieve waarden, ten gevolge van bijstellingen van de overige invoerparameters.)*



Figuur 2 Invloed snelheidstoeslag op overligpercentage

Uit de analyse van de SRK bleek dat schepen met een kleinere diepgang gemiddeld sneller varen, dan de dieper stekende schepen. Het snellere regime, dat hieruit volgt, zou gebruikt kunnen worden voor de eerste, en eventueel ook de tweede, diepgangsklasse schepen. Deze hebben immers maximum diepgangen van respectievelijk 11,60 en 12,20 meter. Voor deze twee klassen is, zowel voor de Cape-sizers, als voor de Panamax-schepen, berekend wat het effect is op het overligpercentage van dit snellere regime, ten opzichte van het normale regime. De resultaten staan in Tabel III. We zien dat vooral de Panamax-schepen een grotere toegankelijkheid krijgen, als het langzame regime wordt gebruikt. Uit de tijpoorttabellen blijkt bovendien, dat een minder diep stekend schip, bij gebruik van het snelle regime, in sommige gevallen een korter tijpoort krijgt, dan een dieper stekend schip dat onder het langzame regime valt. Om deze twee redenen is ervoor gekozen om het langzame regime ook voor de minder diep stekende schepen toe te passen.

Tabel III Invloed snelheidsregime op overligpercentage

Type schip/ diepgang (meter)	Overligpercentage bij	
	Langzaam regime	Snel regime
Panamax		
11,01-11,60	1,4 %	2,1 %
11,61-12,20	5,6 %	8,3 %
Cape-size		
11,01-11,60	0 %	0 %
11,61-12,20	0,005 %	0,1 %

Langzaam regime: regime voor schepen met meer dan 12,10 meter diepgang

Snel regime: regime voor schepen met minder dan 12,10 meter diepgang

In paragraaf 3, Tabel II is een regime gepresenteerd voor schepen met bestemming Sloehaven. Het belangrijkste verschil met het normale regime uit Tabel I is, dat er langzamer gevaren wordt op de ondiepe segmenten in de Scheurpas. Deze aanpassingen zijn tot stand gekomen door een systematische variatie van de snelheden op de kritieke segmenten. Het is daarbij zodanig geoptimaliseerd, dat de segmente 1:2 en 2:1 aan het begin van de geul, even maatgevend zijn geworden als segment 3:5 (het ondiepste segment in de Scheurpas).

Door het gebruik van het extra langzame regime voor de ankerplaats daalt het overligpercentage voor de Cape-sizers aanzienlijk, zie Tabel IV. Soortgelijke resultaten zijn ook gevonden voor de Panamax bulkcarriers en voor kleinere diepgangen. Besloten is dan ook om dit regime toe te passen voor alle schepen met de bestemming ankerplaats Everingen.

Tabel IV Invloed bestemming en snelheidsregime op overligpercentage van Cape-sizer

Diepgang (m)	Sloehaven	Ankerplaats Everingen	
	Normaal regime	Normaal regime	Langzaam regime
14,71-14,80	23,4 %	23,0	14,9
15,11-15,20	49,3 %	47,4 %	25,4